

Conteúdo

RESUMO	2
ABSTRACT	3
GRÁFICOS	4
TABELAS	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DA LITERATURA	8
O movimento Voluntário.....	8
Representação e mapeamento cerebral.....	9
Ganglios da Base	10
Cerebelo.....	11
Memória	13
Aprendizagem.....	15
Memória Motora.....	18
Consolidação da Memória Motora	19
Memória Motora e Sono.....	20
Plasticidade Sináptica	23
Sequências motoras	24
Serial Reaction Time Task	26
Coordenação Visuo-Motora e Sensório-Motora	27
Equilíbrio.....	28
Adaptação de Movimentos	29
Aprendizagem Motora e Crianças	31
Aprendizagem Motora e Idosos.....	33
Actividade Física e Funções Cerebrais.....	34
Atletas vs Sedentários.....	35
3. HIPOTHESES	38
4. METODOLOGIA.....	39
Digital Tapping Task (Sequência de números)	41
Reaction Time Task (Tempo de Reacção)	42
Circuito eléctrico (Coordenação Visuo-Motora).....	43
Pouring Task (Coordenação Visuo-Motora)	44
Equilíbrio.....	45
5. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	46
1. Digital Tapping Task.....	47
2. Reaction Time Test.....	51
3. Circuito Eléctrico.....	56
4. Pouring Task.....	60
5. Equilíbrio.....	64
6. DISCUSSÃO.....	68
Aprendizagem Motora das Tarefas.....	68
Sequências Motoras (Digital Tapping Task)	71
Tempo de Reacção (Reaction Time Test)	73
Coordenação Visuo-Motora (Circuito Eléctrico e Pouring Task).....	75
Equilíbrio (Teste do Equilíbrio)	78
Consolidação da Memória Motora	80
7. CONCLUSÕES	84
8. BIBLIOGRAFIA	85

RESUMO

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos estudos que tentam compreender a consolidação da memória motora e encontrar um modelo para os processos que ocorrem a nível cerebral. Os estudos efectuados limitam-se a utilizar paradigmas experimentais únicos e isolados, impossibilitando a comparação entre tarefas. Além disso, a utilização da mesma população limita a extrapolação dos resultados para variáveis além das tarefas motoras, como é o caso da actividade física intensa e durante vários anos.

Assim, o estudo realizado compara a capacidade de consolidação da memória motora em atletas e em sedentários, através de cinco provas: Digital Tapping Task; Reaction Time Task; Circuito Eléctrico; Pouring Task e Equilíbrio.

Em ambos os grupos (Atletas de ginástica e Sedentários) verificaram-se melhorias significativas de desempenho nas medições efectuadas 24 horas após a aprendizagem e sem treino adicional nos testes de digital tapping task, reaction time task e pouring task.

No entanto os atletas revelaram uma maior capacidade para consolidar a memória motora nos testes que envolviam sequências motoras (digital tapping task e pouring task). Este facto foi explicado pela constante solicitação diária que os atletas têm a nível de construção, consolidação e evocação de sequências motoras durante os treinos de ginástica.

Em ambos os grupos, apesar de apresentarem uma curva de aprendizagem normal, os testes do circuito eléctrico e do equilíbrio, não revelaram alterações significativas no desempenho quando avaliado 24 horas após a aprendizagem. Isto significa que a consolidação nestas tarefas, ou é efectuada durante o processo de aprendizagem, ou obedece a processos diferentes dos que ocorrem com as tarefas anteriores.

Também não se verificaram diferenças significativas entre atletas e sedentários no que diz respeito à aprendizagem e consolidação da memória motora em tempo de reacção, coordenação visuo-motora e equilíbrio (Reaction Time Test, Circuito Eléctrico e Teste do Equilíbrio).

Estes dados permitem-nos perceber que a aprendizagem não termina durante o treino e que o processo de consolidação se prolonga por algumas horas. Além disso, esse processo de consolidação pode ser mais significativo em indivíduos com uma actividade física constante.

A actividade física a longo prazo pode ter benefícios na consolidação de memórias motoras e facilitar dessa forma a aprendizagem de novos gestos motores sequenciais, quer em atletas quer em indivíduos em recuperação motora.

ABSTRACT

In the last years the investigations had try to understand motor memory consolidation and try to find a model for brain processes during consolidation process.

However, the experimental paradigms are limited and we still cannot generalize what we know about motor memory consolidation for all motors tasks. There are many variables that might influence the process of motor memory consolidation and one might be physical activity, mostly if were made with high frequency and intensity.

This study compares the consolidation of motor memory capacity in athletes and sedentary people through five different tests: Digital Tapping Test; Reaction Time Task; Electric Circuit; Pouring Task and Balance.

In both groups (athletes of gymnastics and sedentary) there were an improvement on motor skills when measured 24 hours after the learning trials with out adicional training on digital tapping task, reaction time task and pouring task.

Athletes show a better performance on the skills with motor sequences (digital tapping task and pouring task) when it was measured 24 hours after learning.

This fact might be explained with the intense and daily brain activation that athletes have during their trainings. This expecific brain activation is due to learning, consolidation and recall of motor sequences.

We found no differences between this two groups in the recall tests 24 hours after learning at reaction time, electric circuit and balance. Balance test did not show any improvements when measured 24 hours after learning in athletes and sedentary.

The motor memory consolidation process is not the same for different tasks and there are external factors that might influence it, like chronic physical activity and continuous brain activation through physical activity and exercise.

Physical activity might have long term benefits with in motor memory consolidation process and learning.

GRÁFICOS

Graf. I – Evolução durante o processo de aprendizagem na Digital Tapping Task

Graf. II - Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Digital Tapping Task em ambos os grupos

Gráfico III – Consolidação da memória motora 24h após a aprendizagem no Digital Tapping Task em ambos os grupos

Gráfico IV – Evolução durante o processo de aprendizagem no Reaction Time Test

Gráfico V – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Reaction Time Task em ambos os grupos

Gráfico VI – Consolidação da memória motora 24h após aprendizagem no reaction Time Task em ambos os grupos

Gráfico VII – Consolidação da memória motora 24h após o processo de aprendizagem no Reaction Time Task em ambos os grupos

Gráfico VIII – Evolução durante o processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico

Gráfico IX – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico em ambos os grupos

Gráfico X – Consolidação da memória motora após o processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico em ambos os grupos

Gráfico XI – Evolução durante o processo de aprendizagem durante a Pouring Task

Gráfico XII – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem na Pouring Task em ambos os grupos

Gráfico XIII – Consolidação da memória motora 24h após o processo de aprendizagem na Pouring Task em ambos os grupos

Gráfico XIV – Evolução do processo de aprendizagem durante o teste do equilíbrio

Gráfico XV – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem em ambos os grupos no teste do equilíbrio

Gráfico XVI – Consolidação da memória motora 24h após o processo de aprendizagem no teste do equilíbrio em ambos os grupos

TABELAS

Tabela 1.1 – Estatística Descritiva Digital Tapping Task (Atletas)

Tabela 1.2 - Estatística Descritiva Digital Tapping Task (Sedentários)

Tabela 1.3 - Teste t Digital Tapping Test (Atletas)

Tabela 1.4 - Teste t Digital Tapping Test (Sedentários)

Tabela 1.5 - Teste t Digital Tapping Test (Atletas vs Sedentários)

Tabela 2.1 - Estatística Descritiva Reaction Time Task (Atletas)

Tabela 2.2 - Estatística Descritiva Reaction Time Task (Sedentários)

Tabela 2.3 - Teste t Reaction Time Test (Atletas)

Tabela 2.4 - Test t Reaction Time Test (Sedentários)

Tabela 2.5 - Teste t Reaction Time Test (Atletas vs Sedentários)

Tabela 2.6 - Teste t Reaction Time Test (Masculino vs Feminino)

Tabela 3.1 - Estatística Descritiva Circuito Eléctrico (Atletas)

Tabela 3.2 - Estatística Descritiva Circuito Eléctrico (Sedentários)

Tabela 3.3 - Teste t Circuito Eléctrico (Atletas)

Tabela 3.4 - Teste t Circuito Eléctrico (Sedentários)

Tabela 3.5 - Teste t Circuito Eléctrico (Atletas vs Sedentários)

Tabela 4.1 - Estatística Descritiva Pouring Task (Atletas)

Tabela 4.2 - Estatística Descritiva Pouring Task (Sedentários)

Tabela 4.3 - Teste t Pouring Task (Atletas)

Tabela 4.4 - Teste t Pouring Task (Sedentários)

Tabela 4.5 - Teste t Pouring Task (Atletas vs Sedentários)

Tabela 5.1 - Estatística Descritiva Equilíbrio (Atletas)

Tabela 5.2 - Estatística Descritiva Equilíbrio (Sedentários)

Tabela 5.3 - Teste t Equilíbrio (Atletas)

Tabela 5.4 - Teste t Equilíbrio (Não Sedentários)

Tabela 5.5 - Teste t Equilíbrio (Atletas vs Sedentários)

1. INTRODUÇÃO

“Somos verdadeiramente quem somos pelo que aprendemos e recordamos” Eric Kandel (2000)

A prática é a chave para potenciar a performance de um gesto motor. O facto de que através da prática a atenção disponibilizada nesse gesto se torne cada vez menos, leva-nos a supor que não há limites mentais para a optimização de um gesto. Assim, enquanto que a nossa condição física nos limita a performance física a atingir, um gesto cognitivo continuará a optimizar-se enquanto nos mantivermos a praticar. (Wulf & Schmidt, 1997).

Qual é a capacidade que se encontra dentro dos cérebros de atletas capazes de levar o corpo ao limite do controlo motor e deixar milhares de espectadores surpreendidos com tanta facilidade na realização de gestos aparentemente impossíveis?

Até que ponto vai a nossa capacidade para consolidar gestos motores que nos permitem andar numa bicicleta em qualquer altura da nossa vida? Ou porque é que nunca nos esquecemos como se nada? Ou como se conduz um carro? São estes e outros gestos que permanecem armazenados algures no nosso cérebro e que quando evocados activam um caminho e uma sequência de ligações sinápticas capazes de responder à solicitação para produzir tal gesto.

Depois de percebermos que existem fenómenos de plasticidade sináptica capazes de marcar vias de comunicação cerebral e facilitar a evocação de memórias, até que ponto a prática e solicitação constante de estruturas responsáveis pela organização e execução motora cerebral, modificam e facilitam a capacidade que temos para consolidar os gestos motores?

Até ao momento, a maior parte dos estudos para compreender a consolidação da memória motora incidiu sobre paradigmas com limitações ao nível da tarefa e restringiu-se apenas a uma tarefa de aprendizagem motora. Além disso as amostras limitavam-se a indivíduos normais.

Neste estudo utilizamos cinco testes diferentes para avaliar a capacidade de consolidação da memória motora e a população do estudo será dividida em sedentários (que representam a maior parte da população hoje em dia) e atletas, que são indivíduos, com um nível de alta competição, e com um elevado domínio e controlo motor sobre o próprio corpo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O movimento Voluntário

Todas as impressionantes capacidades perceptivas, cognitivas e emocionais de que o nosso cérebro dispõe seriam praticamente inúteis se não existisse a capacidade de as conseguirmos organizar e produzir uma resposta através da conduta.

Além de todos os movimentos involuntários que se organizam na espinal medula para responder a estímulos adaptativos, os nossos centros de controlo motor superiores são responsáveis não só por planificar um movimento voluntário de acordo com determinados objectivos, mas também por efectuar os reajustes necessários às variações do meio.

Ocupando aproximadamente um terço do lobo frontal, encontra-se o córtex motor que se divide em três sub áreas: o córtex motor primário; a área pré-motora e a área motora suplementar.

Os movimentos voluntários, quando se iniciam, activam áreas do cérebro da região dorsal do córtex pré-frontal (Frackowiak *et al.*, 2004) e, além disso, o cérebro tem a capacidade de planejar as acções motoras antes de as executar. Este planeamento envolve a representação mental e a preparação dessas acções.

Os neurónios do córtex motor primário recebem um conjunto de informações relativas à velocidade e posição dos movimentos provenientes do córtex somatosensorial. Além disso, tal como os neurónios do córtex somatosensorial, também os neurónios do córtex motor dispõem de informação vinda constantemente de receptores periféricos sobre os estímulos tácteis de posicionamento de contracção dos músculos individuais e de rotação das articulações, assim como de velocidade dos movimentos.

As áreas do córtex pré-motor possuem um papel fundamental na planificação de movimentos dirigidos a um objectivo. Segundo Kandel (2000), estas podem ser divididas em duas áreas pré-motoras principais: a área motora suplementar e o córtex pré-motor. Os neurónios destas áreas pré-motoras são projectados até ao córtex motor primário, assim como às estruturas subcorticais e à espinal medula.

Quando procuramos desenvolver uma sequência de movimentos motores complexos, a área motora suplementar desempenha um papel fundamental no sucesso dessa tarefa, na medida em que é activada com o objectivo de planejar o movimento. Além disso, os

movimentos produzidos pela área motora suplementar requerem estimulações neuronais bastante mais intensas do que movimentos produzidos pelo córtex motor primário.

Representação e mapeamento cerebral

Os estudos de estimulação eléctrica realizados, com o objectivo de representar os mapas motores (Barinaga, 1995; Lemon, 1988; Penfield and Boldrey, 1937; Woolsey, 1995), estiveram assentes numa controvérsia muito grande, pelo facto de não se saber exactamente se possuímos uma espécie de teclado individualizado para cada músculo pronto a ser activado, ou um mapa dos movimentos motores, em que cada sítio controla um conjunto de músculos que contribui para a realização de acções motoras particulares. Contrariamente ao entendido inicialmente, hoje sabe-se que a estimulação de uma determinada zona do córtex cerebral pode estimular motoneurónios na espinal medula, innervando diferentes músculos. Além disso estas investigações com estimulação cortical, mostraram também que a contracção individualizada de um músculo pode estimular uma região significativa do córtex motor. Apesar do mapeamento de activação motora do córtex cerebral nos permitir já ter uma visão grosseira da relação entre a construção e a realização de gestos, a rede intrínseca de sinapses e conexões neuronais no córtex motor ainda esconde a chave para a compreensão dos padrões de activação do córtex motor que conduzem à realização de um determinado movimento (Purves, 2004).

Uma das principais dificuldades na investigação em neurociências e, nomeadamente, na sua relação com a actividade física reporta-se ao facto de tentarmos perceber se as variações motoras excepcionais encontradas em atletas, músicos ou outros indivíduos com uma capacidade de construção de gestos motores acima do normal, conseguem ser identificadas no córtex cerebral. Alguns estudos já realizados neste tipo de indivíduos (Elbert *et al.*, 1995; Watson, 2006; Brisswalter *et al.*, 2002; Hutchinson *et al.*, 2003) demonstram um maior fluxo de sangue nas zonas do córtex motor primário quando comparados com indivíduos normais, no entanto, isto não significa que as variações encontradas na performance motora resultado de diferentes construções motoras sejam facilmente identificáveis no córtex, pelo menos, com os meios até então disponíveis.

Gânglios da Base

Tal como o cerebelo que veremos a seguir, os gânglios da base não têm conexões directas com a espinal medula, actuando indirectamente no controlo do movimento através de ligações neuronais ao cortex cerebral. No entanto, recebem informações directas das zonas sensoriais tal como o cerebelo, mas conseguem dessa forma desenvolver uma adaptação de movimentos com vias aferentes e eferentes ligadas directamente ao córtex cerebral.

Os gânglios da base estão compostos por cinco núcleos subcorticais e altamente interconectados: núcleo caudado, putamen, globo pálido, núcleo subtalâmico e substância nigra. O núcleo caudado e o putamen por serem compostos pela mesma substância e se desenvolverem a partir da mesma estrutura, formam em conjunto o estriado. A informação recebida nos gânglios da base chega através do estriado a partir do córtex cerebral e dos núcleos interlaminares do tálamo. As informações chegadas a estes núcleos dividem-se funcionalmente pelo putamen para o controlo motor, caudado no controlo dos movimentos oculares e determinadas funções cognitivas e o estriado ventral que está relacionado com outras áreas corticais que medeiam o efeito das emoções sobre o comportamento. As vias eferentes surgem do segmento interno do globo pálido e terminam em vários núcleos do tálamo, que por sua vez se projectam em áreas corticais, mais especificamente no cortex pré-frontal, córtex pré-motor e área motora suplementar. Temos assim uma influência constante dos gânglios da base sobre os movimentos corporais.

Os gânglios da base acabam por ter um papel importante na planificação e desencadeamento dos movimentos autoiniciados e na organização dos ajustes posturais associados. Esta ideia é consistente com a dificuldade que mostram os pacientes de Parkinson em iniciar movimentos voluntários na ausência de um estímulo que os desencadeie (Kandel, 2000).

Cerebelo

Além do cerebelo integrar a informação de diversas estruturas durante as acções motoras, encontra-se também envolvido nos processos de aprendizagem motora, na medida em que pode inclusive estar sujeito a fenómenos de plasticidade sináptica nas células de Purkinje, quando submetido a grandes performances motoras, comparativamente a um cerebelo com uma actividade motora mais reduzida (Kleim *et al.*, 1998). Apesar dos poucos estudos efectuados em humanos, com as novas técnicas de fMRI têm também surgido algumas investigações que tentam encontrar uma relação entre o aumento de fenómenos de plasticidade e a elevada performance motora. Assim, foram já encontrados aumentos significativos na massa do cerebelo em músicos (Hutchinson *et al.*, 2003), que demonstram uma elevada aprendizagem motora e consequente consolidação da mesma quando comparados com indivíduos não sujeitos aos mesmos processos de treino. No entanto, quando nos referimos a atletas de basquetebol, não foi possível encontrar diferenças nos volumes cerebelosos e cerebrais quando comparados com indivíduos não atletas (Park *et al.*, 2006). O facto de não se terem encontrado diferenças nesta pesquisa, contrariamente ao que se tinha verificado com os músicos, pode ser justificado pela diferença das tarefas ou gestos motores adquiridos por ambos. É por isto fundamental um aumento da investigação nesta área para se entenderem as alterações funcionais que podem levar a um aumento das sinapses ao nível das vias de aprendizagem e consolidação da memória motora.

No caso dos animais, existe a possibilidade de controlar um maior número de variáveis quando estudamos a aprendizagem motora, promovendo não só uma repetição mais intensiva, como uma selecção das tarefas executadas. Por outro lado nos atletas, e de acordo com os resultados obtidos com os músicos, talvez seja mais indicada uma abordagem através de modalidades que envolvam um controlo motor muito maior e uma aprendizagem e consolidação de movimentos motores mais finos e com uma grande solicitação de movimentos, estruturas e sequências motoras mais diferenciadas daquelas que utilizamos no dia a dia e com as quais qualquer ser humano consegue produzir um movimento com elevada performance mesmo sem processos de treino especializados.

O papel do cerebelo no controlo dos movimentos voluntários passa essencialmente por efectuar um ajuste da saída de informação dos sistemas motores encefálicos. Estes ajustes assentam na coordenação e no equilíbrio dos movimentos efectuados e são desenvolvidos a partir de um sistema de comparação dos movimentos projectados com

aqueles que foram realmente executados. Ou pelo menos são comparados com a noção com que o indivíduo ficou da realização final desse movimento (Kandel, 2000). Isto porque em muitas situações a percepção de movimento que o indivíduo possui, não coincide com a realidade do movimento executado. Este é um dos principais factores que nos levam a manter alguns erros em aprendizagens de novos gestos motores se não existir um feedback exterior que consiga rectificar a diferença entre a percepção e a verdadeira realização do gesto motor (Shmidt, 2005). Desta forma, o cerebelo pode modificar os programas motores centrais de modo que os próximos movimentos se ajustem ao seu objectivo com menos erros. Os neurónios cerebelosos podem por isso estar sujeitos a alterações com o aumento da experiência e da aprendizagem motora (Kleim *et al.*, 1998).

Para que seja possível efectuar todas estas operações de análise do movimento, o cerebelo recebe informações de todos os níveis do sistema nervoso. Vias aferentes ligadas aos núcleos profundos e ao córtex e as vias eferentes com projecções para os núcleos profundos cerebelares e para os núcleos vestibulares do tronco cerebelar e que são novamente enviadas para o córtex cerebral (Purves, 2004).

Ao longo dos últimos anos tem-se tornado sólida a ideia de que os circuitos do cerebelo se alteram com a experiência (Kandel, 2000; Purves, 2004) e que muitas destas alterações são importantes para a aprendizagem motora. No entanto, grande parte dos trabalhos nesta área centra-se no estudo dos reflexos vestibulo-oculares (Medina *et al.*, 2001; Ohyama and Mauk, 2001; Cooke *et al.*, 2004) que mantêm a orientação dos olhos fixa quando se efectua uma rotação da cabeça, com o objectivo de se manter a imagem fixa na retina.

Apesar do aumento das evidências quanto ao facto do cerebelo ter grande responsabilidade na memória motora, é fundamental perceber as diferenças funcionais entre o córtex e os núcleos do cerebelo no que diz respeito à formação das memórias motoras. Assim, estudos recentes apontam no sentido de uma memória funcional, ou seja, uma adaptação de curta duração que é formada inicialmente no córtex cerebelar e transferida mais tarde para o núcleo vestibular de maneira a ser consolidada em memória de longo termo (Shutoh *et al.*, 2006; Kassardjian *et al.*, 2005).

Memória

Uma das funções mais surpreendentes do nosso cérebro é a capacidade de codificar seleccionar e armazenar a informação recolhida ao longo das nossas vivências, para que consigamos mais tarde evocá-las e utilizar essa informação nas mais variadas situações, desde o reconhecimento de um amigo, ao reconhecimento de um cheiro até à emoção de uma experiência que desejamos reviver. No entanto, é também impressionante a capacidade de selecção, ou seja, o esquecimento que dispomos e sem o qual a transmissão de informação neuronal poderia sofrer um colapso. O nosso cérebro recebe vários milhares de imagens por dia e apenas armazena aquelas que nos poderão vir a ser úteis no futuro.

Apesar de se conhecer o termo há muitos anos, as fronteiras da memória apenas começaram agora a ser definidas e o seu estudo tem vindo a demonstrar que nem tudo o que julgamos invariável assim o permanece, como foi o caso de algumas descobertas nos últimos anos que revelaram grandes condicionantes nos processos de memória. Entre elas podemos referir Kandel (2000) que revelou a capacidade neuronal de plasticidade sináptica nos circuitos de memória, ou Walker *et al.* (2006) através da demonstração da importância do sono nos processos de construção de memórias motoras.

Pelo facto de se encontrar envolvida em muitos dos nossos processos do dia a dia, a memória é dividida em declarativa, que se refere a tudo o que consegue ser expresso através da linguagem, como por exemplo uma data importante, um número de telefone, uma música, ou um evento passado; e não declarativa, ou memória de procedimentos que é referente à maneira como desenvolvemos as tarefas, promovemos associações, ou como conduzimos um carro, nadamos ou chutamos uma bola. A evocação destas memórias de procedimentos é tida a um nível subconsciente (Purves *et al.*, 2004), principalmente se as mesmas já se encontrarem consolidadas.

No que diz respeito ao tempo a partir do qual uma memória consegue ser evocada, podemos ter até poucos segundos a memória imediata, onde conseguimos reter uma grande quantidade de vivências nas diferentes modalidades sensoriais; de alguns segundos a minutos a memória de trabalho, que nos permite evocar um número de telefone ou uma tarefa que estamos a realizar; e de alguns dias a vários anos memória de

longo prazo onde se encontra armazenada toda a informação referente a memórias que utilizamos ao longo da vida e que permanecem estáveis no nosso cérebro.

Estas memórias são codificadas pelo nosso cérebro, após terem entrado pelos órgãos sensoriais e transformadas em impulso eléctrico. A partir daqui o cérebro identifica se essa situação já foi vivida ou se existe alguma informação armazenada que se relacione com a mesma, desencadeando um padrão de activação idênticos aos da situação semelhante vivida anteriormente (Caldas, 2000). Com este padrão de activação semelhante o indivíduo tem a sensação de reconhecimento do estímulo que acabou de receber. Durante este reconhecimento podem ser activadas várias regiões cerebrais, pelo simples facto de que, quando recebemos um estímulo, (um local onde já estivemos por exemplo), existem inúmeras sensações que nos podem ser familiares, desde um cheiro, ao reconhecimento das cores, passando pelos sons próprios desse mesmo local, etc. Pelo facto de possuímos zonas cerebrais para interpretação das imagens diferentes das que interpretam os sons ou mesmo os cheiros, o cérebro tem que, imediatamente construir uma imagem mental do local onde estamos, para que todos esses estímulos possam estar associados e tenham a capacidade de ser evocados como tal (Posner *et al.*, 2001).

Esta associação, que é feita com a informação que entrou no nosso cérebro, é efectuada através da evocação de memórias anteriormente guardadas. A relação de associação entre as novas imagens mentais e as memórias recebidas depende da experiência de cada indivíduo e, por sua vez, condiciona em grande parte a resposta dada por cada um. A capacidade que temos em fazer associações destas pode ditar a diferença entre um indivíduo conseguir uma resposta mais correcta para o objectivo em questão. A nível desportivo, esta capacidade de associação pode ser a diferença entre um indivíduo observar um gesto desportivo do treinador para repetir e desenvolvê-lo correctamente ou só conseguir efectuá-lo após várias tentativas e correcções.

Aprendizagem

Segundo Kandel (2000) existem dois tipos de aprendizagem implícita: o associativo e o não associativo.

A aprendizagem não associativa acontece quando o sujeito é submetido a um estímulo várias vezes, pode ocorrer através da habituação ou da sensibilização. A habituação é uma diminuição na resposta com o reconhecimento e familiarização do estímulo. Por outro lado, a sensibilização resulta do fortalecimento da resposta a uma ampla variedade de estímulos. Os processos de sensibilização podem mesmo sobrepor-se à habituação e anular todo o processo de aprendizagem por habituação através da sensibilização a novos estímulos.

Estes processos de aprendizagem promovem alterações significativas a nível celular, modificando a transmissão sináptica entre os neurónios. No processo de habituação, descrito anteriormente, a *Aplysia*, que é composta por um sistema nervoso simples com apenas 20000 células nervosas centrais, revela uma depressão na transmissão sináptica entre os neurónios sensoriais e os motoneurónios quando sujeita a um estímulo repetido promovendo uma resposta motora de retirada. Desta forma, à medida que o estímulo se repete, temos a mesma resposta motora de retirada, com uma menor quantidade de neurotransmissor e uma alteração efectiva na plasticidade das conexões sinápticas. Este processo demonstra-nos a memória a curto prazo de habituação e a constatação de que o seu armazenamento não se limita a um lugar específico, mas distribui-se ao longo do circuito neuronal. É possível que no cérebro humano este tipo de plasticidade sináptica tenha uma grande importância no processo de aprendizagem motora e que evidencie melhorias na performance motora através de processos semelhantes.

A outra forma de aprendizagem não associativa que promove alterações nas transmissões sinápticas é a sensibilização, que resulta de uma resposta a um estímulo nocivo e que, ao contrário da habituação, leva a uma potenciação na transmissão sináptica. Com isto, pretende-se uma resposta mais rápida através de um aumento na libertação do neurotransmissor, face à nocividade do estímulo (Kandel, 2000).

A memória a longo prazo depende também da síntese de proteínas, bem como do crescimento de novas conexões sinápticas na sensibilização e da diminuição dessas conexões na habituação.

A aprendizagem é assim um processo através do qual uma nova informação é adquirida pelo sistema nervoso e observável através de alterações no comportamento (Purves *et al.*, 2004)

Em relação à aprendizagem associativa, encontramos dois paradigmas amplamente estudados e que nos revelam a aprendizagem através de uma relação que é desenvolvida entre dois estímulos (condicionamento clássico) e a que é desenvolvida a partir da relação entre um estímulo e uma conduta do organismo (condicionamento operante). De acordo com as investigações de Pavlov (1927) a aprendizagem consiste em responder a um estímulo que por si só não é suficiente para gerar a resposta, criando uma teoria de aprendizagem por associação e estabelecendo pressupostos entre a conduta e o meio ambiente. Por outro lado, no condicionamento operante, aperfeiçoado por Skinner (1953) a aprendizagem é consolidada a partir de ensaio-erro, onde vemos implicado o emparelhamento de um estímulo com uma determinada resposta, positiva ou negativa, que nos leva a repetir ou evitar determinada conduta, respectivamente.

O condicionamento clássico também aumenta a sensibilização a nível sináptico através da potenciação de ligações pré-sinápticas. Esta facilitação amplifica assim o estímulo condicionado quando é produzido imediatamente antes do estímulo incondicionado.

Em muitas situações podemos ter aprendizagem de novas situações através de uma relação entre memória implícita e explícita, como quando, por exemplo, o sujeito fica condicionado por um estímulo para desenvolver uma determinada acção motora, mas também adquire informação cognitiva que lhe permite adaptar uma mesma resposta motora numa situação antagónica. Além disto, e fundamentalmente em grande parte dos gestos desportivos que adquirimos, aquilo que inicialmente é uma memória explícita torna-se posteriormente numa memória implícita. Em grande parte porque, segundo Fitts (1967), a aprendizagem do gesto motor é elaborada em fases consecutivas que passam desde a cognição e fixação até à fase automática, onde o gesto motor consegue ser produzido de forma automática, ou seja, sem interferência de outra tarefa e com um nível de atenção significativamente mais baixo. Depois de Fitts (1967) ter estabelecido esta teoria, e se terem verificado pequenas variações da mesma, principalmente por Adams (1971) e Gentile (1972), a automatização do gesto motor tem vindo a ser um tema de relevante interesse na investigação em neurociências, na medida em que nos permite compreender o processo de consolidação da memória motora. Medina *et al.* (2001), Ohyama and Mauk (2001) e Cooke *et al.* (2004) desenvolveram

pesquisas com base em condicionamento ocular e reflexos vestibulo-oculares, com o objectivo de conhecer melhor os circuitos neuronais responsáveis pelo armazenamento e consolidação da memória motora, nomeadamente ao nível do cerebelo.

Como já foi dito anteriormente, por vezes é difícil interpretar a complexidade de uma tarefa motora a nível da activação do córtex motor. No entanto, estudos recentes com Ressonância Magnética Funcional (fMRI) demonstraram que quanto mais complexa é a tarefa motora, maior é o nível de activação do córtex cerebral (Wu *et al.*, 2004). Estes estudos com ressonância magnética funcional revelaram maior actividade com o aumento da complexidade da tarefa e um envolvimento do cerebelo no processo de automatização do gesto devido ao facto de se encontrar diminuída a sua actividade depois de automatizado o gesto (Wu *et al.*, 2004; Doyon *et al.*, 1996; Wright *et al.*, 2004).

As interferências de tarefas motoras podem ser positivas quando estas são similares, mas revelar-se-ão extremamente negativas e com uma dificuldade de aprendizagem aumentada se uma nova tarefa motora contiver passos antagonistas à tarefa aprendida anteriormente. Além disso, a tarefa aprendida pode mesmo vir a ser afectada. (Wulf and Schmidt, 1997). Se conseguirmos decompor uma tarefa em componentes independentes, a sua aprendizagem através desses mesmos componentes torna-se mais fácil. No entanto, se esses componentes forem dependentes, é mais eficaz aprendê-la como um todo.

Segundo Ashe *et al.* (2006), um dos principais problemas no estudo da aprendizagem motora é como separar as consequências da aprendizagem do próprio processo.

Assim, segundo Krakauer and Shadmehr, (2006) é fundamental distinguir entre tarefas e sequências na aprendizagem motora, de maneira a que o indivíduo consiga, antes de efectuar uma sequência motora, consolidar as tarefas que a compõem.

A aprendizagem é avaliada através da medição de uma tarefa que o indivíduo executa e as alterações progressivas no seu rendimento. Obtemos assim uma curva de aprendizagem, ou seja, um aumento do rendimento com o aumento do número de ensaios em função do tempo. No entanto, é algo complicado analisar desta forma as variáveis que intervêm no processo de aprendizagem e para isso aplica-se a tarefa a dois grupos em que um deles falta uma determinada variável comparativamente ao outro (grupo de controlo). Este protocolo controla as variações que não estão relacionadas directamente com o processo de aprendizagem, mas que têm uma interferência directa no mesmo (Kandel, 2000).

Memória Motora

Além das tarefas mais simples como o andar ou correr, com que todos nascemos e de uma maneira ou de outra as conseguimos realizar correctamente, o nosso SNC tem a capacidade de automatizar determinados gestos motores que, mesmo com um elevado grau de complexidade, se tornam automáticos após várias execuções.

A memória motora difere da memória declarativa na medida em que resulta de um aumento da performance através de várias execuções motoras, definidas como aprendizagem motora, ao contrário da evocação de um item na memória declarativa. Desta forma, as memórias motoras ficam consolidadas quando se tornam mais estáveis com o tempo (Dudai, 2004) e a sua performance não é afectada pela interferência de outra memória ou aprendizagem motora.

No entanto, e apesar de, ao fim de 24 horas as memórias motoras serem consideradas de longo termo (Krakauer and Shadmehr, 2006), a sua consolidação só parece ser mais efectiva algumas horas depois de realizada a tarefa e não imediatamente após a mesma, como pode ser verificado por vários estudos (Fisher, 2005; Baraduc, 2004; Walker *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2004). Estes factos levam-nos a considerar fundamental o estabelecimento de planos de treino para aprendizagem quer em atletas quer em indivíduos em recuperação motora, no sentido de não sobrecarregar o processo de aprendizagem com várias tarefas motoras com intervalos temporais muito curtos entre elas, correndo o risco de não se verificar uma consolidação das mesmas.

Através do recurso a novas técnicas como é o caso da Ressonância Magnética Funcional ou estudos de Tomografia de Emissão de Positrões (PET), temos observado as variações cerebrais na aprendizagem motora e as suas alterações entre diferentes regiões corticais (Wright *et al.*, 2004; Shadmehr and Holcomb, 1997). No entanto, além deste processo de aprendizagem motora e da sua identificação e localização cerebral, é fundamental o conhecimento das alterações cerebrais durante o processo de consolidação da aprendizagem motora, porque só assim conseguiremos entender o processo na globalidade e interpretar as variações durante a consolidação dos gestos motores, identificando as localizações e estruturas envolvidas. Em 2004, Wright *et al.*, avançou para um estudo através de PET para investigar as alterações anatómicas funcionais da aprendizagem motora, enquanto o processo de consolidação é interrompido. Nesta investigação, 30 sujeitos aprenderam uma tarefa motora e um novo grupo de 10 sujeitos foi submetido ao mesmo protocolo, mas com uma nova tarefa de interferência, tentando impedir a consolidação motora da primeira. Através da implementação da tarefa de

distracção, verificou-se uma menor redução na actividade cortical frontal e parietal e menor transferência para as áreas occipitais e motora primária. Desta forma, a interferência da consolidação de uma memória motora altera a transferência e processamento entre as diferentes regiões envolvidas no processo.

Consolidação da Memória Motora

Tal como a memória declarativa, a memória motora também está sujeita a processos cerebrais que levam a uma consolidação e a um estado de estabilização das memórias motoras de longa duração (>24h) onde a interferência de outra tarefa não tem efeito na tarefa anterior já consolidada (Krakauer and Shadmehr, 2006; Wu *et al.*, 2004). Segundo Walker *et al.* (2003), a realização de uma tarefa motora imediatamente a seguir a uma primeira provoca interferência e impede mesmo que seja consolidada quando medida 24h depois de realizada. No entanto, segundo o mesmo autor, se a segunda tarefa for efectuada 6h após a primeira, já se verifica uma consolidação medida 24h depois. Stefan *et al.* (2005) também encontrou resultados semelhantes. Porém, contrariando estes dados, Caithness *et al.* (2004) afirma que uma segunda tarefa sensório-motora influencia sempre uma primeira quando efectuada 24h depois ou mesmo efectuada com uma semana de intervalo. Com estes resultados, os autores defendem a ideia de que as memórias sensório-motoras podem oscilar entre estados activos e inactivos, em vez de estados de perfeita consolidação. As tarefas aplicadas neste estudos foram rotações visuo motoras e campos magnéticos. As memórias das tarefas realizadas inicialmente passam para um estado activo quando é apresentada uma segunda tarefa do mesmo tipo e adaptam-se a essa segunda tarefa, perdendo então o seu estado de consolidação.

Por ser uma área recente e com recurso a diferentes protocolos, os resultados e conclusões relativos à consolidação e formação de memórias motoras são ainda muito divergentes. Um dos motivos para esta variação pode ser o facto de se utilizarem protocolos com tarefas únicas e diferentes que poderão recorrer a processos cerebrais distintos, como é o caso das tarefas sensório-motoras, sequências digitais de números, tempo de reacção, entre outras.

Uma das hipóteses avançadas para as alterações neuronais que ocorrem quando somos sujeitos à consolidação após a aquisição de novos *skills* motores passa pela criação ou aprendizagem de modelos internos da dinâmica da tarefa. Durante as horas seguintes à

prática, verifica-se a representação ou construção de um modelo interno da tarefa motora aprendida e que torna a sua execução ou evocação menos frágil no que diz respeito às interferências a que ainda possa estar sujeita (Shadmehr and Holcomb, 1997). De acordo com as imagens de funcionalidade cerebral obtidas durante este processo, podemos verificar que, logo após 6 horas sem prática, o cérebro já demonstra a solicitação de novas regiões para efectuar a tarefa. Verifica-se assim uma transferência das áreas pré-frontais do córtex, para as áreas pré-motora, postero-parietal e córtex cerebelar.

A esta consolidação de movimentos podemos também chamar automatização, o que pode ser entendido como o momento a partir do qual conseguimos realizar uma tarefa de forma automática, ou seja, sem uma atenção tão elevada, desenvolvendo correctamente a sequência de movimentos associada à mesma. Quanto mais complexa for a tarefa que tenta automatizar, maior será a activação cerebral, nomeadamente nas áreas do córtex parietal, premotor e cerebelo (Wu et al., 2004). Nesta investigação, todos os sujeitos afirmaram que quando a sequência estava automatizada, conseguiam efectua-la de forma automática sem pensar nos dígitos seguintes. Segundo estes autores, a sequência digital de números possui uma activação significativa do cérebro e é um excelente protocolo para o estudo da automatização de movimentos, ou seja, consolidação da memória motora. O cerebelo, já discutido anteriormente, representa um papel fundamental na consolidação das memórias motoras, na medida em que os pacientes com lesões do cerebelo conseguem melhorar uma tarefa motora com a prática, mas não conseguem desenvolver essa mesma tarefa de forma automática (Lang and Bastian, 2002).

Memória Motora e Sono

Ao longo dos últimos anos, temos assistido a avanços no campo do conhecimento da memória motora e da maneira como esta se consolida, adquirindo níveis de performance superiores aos conseguidos no final da última execução de treino. De acordo com vários autores (Walker *et al.*, 2002;2005; Cohen *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2005 Della-Maggiore, 2005; Curcio *et al.*, 2006; Backhaus and Junghanns, 2006) o sono possui um papel fundamental nesta consolidação da memória motora e no aumento de performance. Face a estes resultados, uma boa noite de sono promove uma melhoria de 20% na velocidade de execução motora, sem perca de acuidade, comparativamente a

um mesmo período em que os indivíduos se mantêm acordados em estado de alerta (Walker *et al.*, 2002). É certo que a prática ao longo de uma sessão de treino, promove melhorias na velocidade e precisão de uma determinada tarefa motora. No entanto, de acordo com o mesmo autor, quando essa mesma tarefa é efectuada 24 horas depois sem qualquer treino adicional, são verificados ganhos significativos na performance motora. É inevitável a colocação da hipótese que aponta variações ao nível da plasticidade cerebral e/ou cerebelosa como responsáveis por essas alterações na performance motora. Plasticidade essa que, segundo Cohen *et al.* (2005), pode envolver diferentes processos durante a consolidação, nomeadamente com melhorias relacionadas com os objectivos da tarefa a acontecerem exclusivamente durante o dia e as melhorias relacionadas com os movimentos da tarefa a serem consolidadas exclusivamente durante a noite. Começam assim a surgir algumas evidências que apontam o sono como um dos factores condicionantes na consolidação da memória motora e uma dinâmica nesses processos. De facto o processo de consolidação durante o sono não se limita a uma única zona do cérebro e requer uma reorganização cerebral através de uma diminuição da activação em zonas como a prefrontal, premotora e córtex motor primário, levando a um consequente aumento do córtex parietal esquerdo (Fischer *et al.*, 2005).

Com o aumento dos estudos que relacionam a memória motora e a importância do sono durante a sua consolidação, aparecem inevitavelmente dúvidas relacionadas com a prática desse mesmo sono e que interferência terá isso na consolidação. Qual o impacto de um sono mais curto na consolidação da memória declarativa e de procedimentos foi investigado por Backhaus and Junghanns (2006) em 34 indivíduos saudáveis. Os indivíduos foram testados com e sem um curto sono diurno de apenas 45 minutos, quando anteriormente foram submetidos a uma aprendizagem declarativa e de procedimentos. O grupo que dormiu durante o dia após a aprendizagem revelou melhorias na memória de procedimentos, mas não na declarativa, mostrando desta forma a importância do sono na consolidação deste tipo de memória, seja ele nocturno ou diurno. No entanto, face às conhecidas diferenças entre o sono nocturno e diurno, urge investigar as diferenças na consolidação da memória motora quando os indivíduos aprendem a mesma tarefa e são submetidos a um processo de sono nocturno e outros a um sono diurno.

Apesar de todas estas evidências acerca da importância do sono nos processos de consolidação da memória motora, existe ainda alguma incoerência nos resultados

obtidos ou nas conclusões que daí advêm. De acordo com Vertes (2004), o processo de consolidação ou aumento da performance em tarefas motoras iniciado durante o estado de alerta pode eventualmente estender-se para o sono, mas este estado não tem uma interferência dependente na consolidação da memória dessas tarefas. Este autor critica o facto de que, nestes estudos, a interpretação dos aumentos de performance medidos após uma noite de sono sem treino adicional não tem em conta o percurso de vida dos indivíduos capaz de influenciar os mecanismos de consolidação da memória motora. Além disso, a maioria dos estudos tem feito os re testes 24 horas depois, o que não apresenta de maneira alguma uma consolidação a longo prazo da memória. De acordo com vários autores as memórias motoras são passíveis de interferência em curtos períodos de tempo, mas ficam consolidadas após um período de 4h a 6h (Donchin *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2004). Segundo Vertes (2004), se as memórias motoras ficam consolidadas após um período de 6h, não faz sentido responsabilizar o estado de sono por esta consolidação. É sim um processo que se inicia em alerta e que se pode prolongar para o sono, sendo dependente do tempo e não do estado do cérebro. Além disso, a maioria dos estudos têm sido efectuados com o Digital Tapping Test, e Donchin *et al.* (2002) não encontrou qualquer relação entre uma noite de sono e a melhoria da performance de uma tarefa motora de aproximação do braço, complementando assim Cohen *et al.* (2005) quando afirma que apenas o objectivo do movimento é aumentado durante uma noite de sono, sendo que a sequência de movimentos depende de processos durante o dia.

Devem ser desenvolvidos estudos para se tentar compreender os fenómenos envolvidos nos processos de consolidação da memória motora que envolvam metodologias e protocolos de avaliação com tarefas motoras diferentes, bem como populações diferentes (exemplo: atletas vs sedentários).

Plasticidade Sináptica

Nos últimos anos verificaram-se avanços significativos nos sistemas envolvidos na aprendizagem. O fenómeno de plasticidade sináptica associado ao hipocampo (Callaghan *et al.*, 2007) trouxe novas perspectivas associadas à memória motora e execução de movimentos, a partir do facto de o hipocampo ser uma das estruturas mais importantes em qualquer processo de memória. Além disso a capacidade desta estrutura desenvolver fenómenos de plasticidade, transpôs-nos para essas alterações sinápticas em outras estruturas também envolvidas no comportamento motor, como é o caso do córtex cerebral ou o cerebelo.

Muitas das investigações desenvolvidas na temática da plasticidade sináptica e a sua relação com a actividade física, têm sido desenvolvidas nos efeitos do exercício nos neurónios do hipocampo, como estruturas fundamentais à memória e aprendizagem. Callaghan *et al.* (2007) apresentam resultados coincidentes com um aumento na expressão do factor neurotrófico BDNF, devido a um aumento da Potenciação de Longo Termo (LTP) provocada pelo exercício físico. Este aumento levou a uma melhoria das capacidades cognitivas não espaciais e uma estabilidade das capacidades relacionadas com a aprendizagem espacial. Esta não melhoria das capacidades espaciais pode estar relacionada com a carga de exercício que foi aplicada neste protocolo, uma vez que contraria alguns estudos onde se verificou exactamente o contrário (Vaynman *et al.*, 2004; Praag *et al.*, 1999).

Tal como já foi referido, a aprendizagem motora e todo o seu processo de consolidação das memórias requerem uma intervenção do fenómeno de plasticidade sináptica, provocado pela reorganização das sinapses neuronais. Esta plasticidade, como um dos principais factores que levam ao aumento da performance motora, pode ser facilitada ou potenciada pela Estimulação Magnética Transcraniana (TMS) (Ljubisavljevic, 2006; McDonnell and Ridding, 2006; Butefisch *et al.*, 2004; Baraduc, 2004). A TMS é um meio eficaz, não invasivo, indolor e seguro para explorar a alteração da actividade cerebral (Hallet, 2000). Este método altera a excitabilidade neurocortical e tem sido utilizado em diversos estudos no sentido de verificar a optimização das tarefas motoras aprendidas.

A aplicação de TMS pode ter resultados significativos na actividade física, tal como na reabilitação, na medida em que uma memória motora consegue ser potenciada através de uma estimulação sincronizada do córtex motor que se encontra a desenvolver a tarefa, e diminuída estimulando o córtex motor ipsilateral ao desenvolvimento da tarefa.

Desta forma, a TMS tem provado ao longo da última década ser um método eficaz no estudo da plasticidade cerebral humana e no processo de aquisição e re aprendizagem de tarefas motoras (Ljubisavljevic, 2006), através do aumento da excitabilidade cortical, promovendo processos de Potenciação de Longo Termo (LTP-*Long Term Potentiation*). Este aumento da excitabilidade dos neurónios do córtex motor e o consequente aumento do processo de aprendizagem é eficaz quer em tarefas simples (Classen *et al.*, 1998; Butefisch *et al.*, 2004), quer na execução de tarefas mais complexas (McDonnell and Ridding, 2006). Apesar de ainda não existirem muitos estudos com pacientes, Hummel *et al.*, 2005, num estudo relativamente recente encontraram melhorias funcionais num pequeno grupo de pacientes crónicos com um acidente vascular cerebral, quando submetidos directamente a TMS.

Sequências motoras

As sequências motoras podem ser tão usuais que nos esquecemos da sua importância no nosso dia a dia. Desde marcar um número de telefone conhecido, a escrever uma carta num teclado, ou simplesmente nadar ou correr para promover o bem estar, são tudo situações que recorrem a sequências motoras já construídas no nosso cérebro para o sucesso da tarefa. O conhecimento de como estas sequências são executadas, estruturadas, aprendidas e adaptadas, permite-nos otimizar o treino das mesmas, quer em atletas, quer em indivíduos em recuperação neurológica.

As memórias motoras podem apresentar características implícitas, pelo menos no início, envolvendo regiões cerebrais distintas das memórias explícitas. No entanto, o processo de aprendizagem motora leva a que a memória se represente necessariamente explícita, nomeadamente no caso das sequências motoras, onde podem ser facilmente representadas com gestos repetidos (Ashe *et al.*, 2006).

O nosso comportamento motor, e nomeadamente a aprendizagem motora, presente em grande parte das tarefas das quais dependemos no nosso dia a dia, é construída com base em gestos motores isolados, mas também em sequências motoras que só quando correctamente executadas produzem o movimento pretendido. Assim, tal como numa conversa temos que produzir as palavras com uma sequência lógica, ou na memória episódica ordenamos os acontecimentos por ordem temporal, o mesmo também se aplica para os gestos motores. Desta maneira os diferentes componentes motores que constituem a totalidade da acção motora, têm uma ordem específica, bem como uma

sequência temporal exacta, de maneira a que o sucesso da performance se encontre dependente das mesmas.

Tal como já foi visto em várias investigações em aprendizagem motora (Walker *et al.*, 2003; Stefan *et al.*, 2005; Krakauer e Shadmehr, 2006), as sequências também requerem uma fase inicial em que o indivíduo necessita de algum apoio visual e espacial que ajuda a promover a aprendizagem do gesto. No entanto, à medida que a tarefa se vai tornando mais automática, temos a capacidade de realizar os seus movimentos de forma mais sequencial, sabendo como e em que *timings* executar os movimentos seguintes, de tal maneira que a atenção necessária se torna mínima. A conjugação destas variações motoras permite-nos reproduzir gestos mais complexos com um automatismo incrível, capaz de nos fazer questionar qual a sequência motora desenvolvida. De acordo com Hikosaka *et al.* (2002), uma sequência de movimentos é representada de duas maneiras: por uma sequência espacial e por uma sequência motora. A primeira, é suportada pelo córtex parietal/pré-frontal com as regiões associativas dos gânglios da base e cerebelo. Por outro lado, a aprendizagem das sequências motoras, na segunda, são mediadas pelos *loops* corticais com a região motora dos gânglios da base e cerebelo.

Além de compreendermos a zona cerebral onde tudo ocorre, é fundamental conseguirmos perceber o que acontece a nível das sequências motoras que já estão criadas quando temos necessidade de adaptar uma nova sequência. Será que o sistema cria uma nova sequência, apaga a anterior, ou cria uma estrutura nova adaptada (Panzer *et al.*, 2006)

Os dados de que dispomos indicam-nos uma grande importância da relação entre cérebro, cerebelo e gânglios da base na construção de um movimento sequencial. Assim, o plano dos movimentos sequenciais a efectuar é transmitido, a partir das áreas sensorial e pré-motora do córtex cerebral, para o cerebelo, comunicando também com os gânglios da base. Assim, o cerebelo tem grande importância principalmente na transição de um movimento para outro, na medida em que muitos dos neurónios dos núcleos dentados exibem o padrão de actividade do próximo movimento sequencial e não do que está a ocorrer no momento. Além disto, o cerebelo controla exactamente o tempo de ocorrência do próximo movimento para que este não ocorra antes ou depois do pretendido (Guyton *et al.*, 1997).

Serial Reaction Time Task

Como um dos aspectos fundamentais para a realização de gestos motores, as tarefas que medem o tempo de reacção face a determinado estímulo são largamente estudadas e demonstram grande importância na aprendizagem motora. O intervalo de tempo desde a apresentação de um estímulo até ao início da resposta (Godinho, 2002) é fundamental na execução correcta de qualquer tarefa motora. Quer nas tarefas mais simples quer nas mais complexas, a resposta a um determinado estímulo pode ser uma condicionante na performance de um gesto motor por si só, ou numa sequência de gestos motores.

Apesar disto, podemos estudar tempos de reacção simples, de escolha ou de reconhecimento onde a resposta aumenta progressivamente em cada um deles. No nosso caso interessa-nos estudar um tempo de reacção simples, onde o indivíduo já conheça o estímulo e a resposta, estando esta apenas condicionada à realização temporal exacta.

À medida que avançamos na idade todos nós sentimos uma diminuição nos tempos de reacção para efectuar uma determinada motora, no entanto, quanto mais complexa for essa tarefa, maior será essa diferença no tempo de reacção Der and Deary (2006).

Deroost and Soetens (2006) desenvolveram um estudo para determinar quais as condições necessárias para que a aprendizagem de um gesto motor esteja influenciada pela aprendizagem da percepção, chegando à conclusão que esta pode ser facilitada possivelmente pelo facto de aprendizagens concorrentes libertarem fontes de atenção necessárias ou os dois mecanismos se encontrarem mesmo interligados.

O tempo de reacção traduz-nos a capacidade do indivíduo para processar toda a informação necessária à realização de uma resposta motora. Essa informação envolve um enorme número de processos cerebrais e periféricos que nos indicam as condições estáticas e dinâmicas do nosso corpo, bem como a sua relação com o meio que nos envolve.

O tempo de reacção é tanto maior quanto maior for a complexidade da resposta a ser processada e o número de opções de resposta, e diminui à medida que a idade aumenta (Squire *et al.*, 2003), o que significa que, provavelmente, existem processos maturacionais que condicionam a leitura e programação de uma resposta motora. Pela maturação cerebral destes processos só acontecer totalmente a partir da adolescência, de acordo com o mesmo autor, muita da aprendizagem motora pode ficar condicionada pela resposta mais tardia.

Além disto, num gesto condicionado ao tempo de reacção, pode depender em simultâneo da aprendizagem perceptual e motora (Mayr, 1996). A posição do objecto e

do corpo em relação a este pode influenciar o sucesso da tarefa através de uma construção sequencial dessa informação recebida.

Em relação ao desporto já foram efectuados alguns estudos em atletas que mostram que no Karaté os tempos de reacção diminuem com o aumento da experiência do indivíduo, mas no voleibol os atletas inexperientes têm melhores tempos de reacção (Fontani *et al.*, 2006). O tempo de reacção a um estímulo visual diminui com três semanas de prática (Ando *et al.*, 2002) e os efeitos dessa prática podem durar até três semanas após se ter interrompido os treinos (Ando *et al.*, 2004). No nosso caso, os atletas mantêm uma actividade diária e os indivíduos sedentários não têm nenhuma prática que ligue directamente a utilização de exercício motores com o tempo de reacção.

Em relação à influência do exercício físico na resposta de tempo de reacção, podemos encontrar melhorias nesta tarefa após exercício físico intenso, mas só após os primeiros 8 minutos (Kashihara e Nakahara, 2005) e algumas melhorias significativas após exercício num cicloergómetro (Davranche *et al.*, 2006). Estes estudos encontraram melhorias no tempo de reacção mas, no nosso protocolo, a utilização de atletas remete-nos para efeitos crónicos do exercício físico e não agudos como analisados por estes autores.

Coordenação Visuo-Motora e Sensório-Motora

A luz entra no cérebro e depois de interpretada é convertida numa resposta motora que resulta de conexões do córtex estriado com o córtex parietal inferior e em seguida com o córtex pré motor. Depois, as áreas pré motoras comunicam com o córtex motor.

A coordenação visuo-motora é uma tarefa extremamente complexa do ponto de vista do processamento cerebral, se pensarmos que o simples gesto de agarrar uma bola requer um rápido cálculo e a transmissão dessa informação aos membros superiores para o resultado final. É espantosa a maneira como conseguimos ter sucesso nestas situações se considerarmos que, assim que a bola vem no ar, processamos a informação visual no lobo parietal para obtermos os cálculos exactos de velocidade e trajectória do objecto de maneira a projectá-las no lobo frontal, contraindo os músculos exactos, no momento exacto e com a força e precisão exactas (Squire *et al.*, 2003). O tempo de processamento de toda esta informação é fundamental para conseguirmos compreender melhor as limitações e capacidades da aprendizagem motora.

A aquisição de novas tarefas motoras depende da criação e aprendizagem de um mapeamento entre os comandos motores e as consequências sensoriais daí resultantes. Tal como já foi referido, é inicialmente adquirida numa memória de trabalho e posteriormente armazenada a longo prazo numa zona do cérebro diferente da memória declarativa (Cavaco *et al.*, 2004). Em estudos que têm sido desenvolvidos com alavancas de força e movimentos do braço, é sugerido que a captação e adaptação interna destes mapas entre comandos motores e consequências sensoriais são determinados em conjunto pelas forças aplicadas e pela postura do braço e não somente pela alavanca de força aplicada (Gandolfo *et al.*, 1996). Isto significa que esta aprendizagem dinâmica resulta do mapeamento dos estados sensoriais do braço e da força aplicada em cada um desses instantes.

Segundo Conditt *et al.* (1997) a aprendizagem motora das tarefas pode ser generalizada para novos gestos motores que se adaptam através da aquisição de um modelo interno do movimento dinâmico. No entanto, Tong and Flanagan (2003) apresenta resultados distintos no que diz respeito a esta matéria, na medida em que concluiu que não existe transferência na aprendizagem em tarefas de aproximação nos indivíduos que efectuarem a tarefa com forças contrárias em tarefas diferentes. Apesar de tudo é importante ressaltar que estes dois estudos tiveram paradigmas experimentais diferentes e que pode ser essa uma das causas para os resultados contraditórios. Conditt *et al.* (1997) examinou a facilitação antogada, ou seja, como é que a aprendizagem de uma tarefa se transfere para uma seguinte, enquanto que Tong and Flanagan (2003) verificou uma interferência retrogada, ou seja, como é que a aprendizagem de uma tarefa afecta a aprendizagem anterior de uma tarefa diferente.

Equilíbrio

O equilíbrio é uma função do nosso corpo que se encontra envolvido nas mais variadas tarefas do dia a dia. Desde as mais pequenas variações posturais até aos gestos mais complexos efectuados por atletas de ginástica, que tornam esses gestos aparentemente fáceis para o espectador pelo simples facto de exibirem um controlo motor extraordinário, permitindo uma resposta neuronal perfeita de acordo com os reajustes posturais necessários.

O controlo do equilíbrio inicia-se no aparelho vestibular, localizado na parte petrosa do osso temporal, no ouvido interno. A partir daqui, e pelo facto de ser uma função

primária a níveis evolutivos, a informação é enviada para o núcleo vestibular do tronco cerebral, onde é processada a informação sobre a posição da cabeça e a sua aceleração angular. Além deste núcleo existe uma complexa rede de circuitos neuronais chamada formação reticular que está também envolvida na manutenção do equilíbrio e de alguns reflexos motores sensitivos, controlo da função respiratória e cardíaca e coordenação espacial e temporal de movimentos. A via primária dos reflexos do equilíbrio envia também projecções para o cerebelo (Guyton *et al.*, 1997)

O núcleo vestibular e a formação reticular mantêm a postura corporal através de reajustes efectuados com informação vinda do aparelho vestibular.

Estes reajustes extremamente rápidos, principalmente durante a ocorrência de um gesto desportivo só são possíveis porque o cérebro é informado não só das posições das diferentes partes do corpo mas também da rapidez e da direcção com que estão a ser efectuados esses movimentos (Guyton *et al.*, 1997). Só assim o cérebro consegue construir uma resposta motora voluntária capaz de responder às exigências das alterações posturais de tarefas mais complexas. Acredita-se que a função do cerebelo, e mais concretamente do vestibulocerebelo, seja a de calcular a partir dessas velocidades e direcções onde estarão as diferentes partes do corpo nos próximos milissegundos. Os resultados desses cálculos são a chave para a acção motora do cérebro em função do movimento sequencial pretendido (Purves *et al.*, 2004).

Adaptação de Movimentos

Quando nos encontramos a efectuar um determinado movimento e existem variações inesperadas, o nosso corpo, nomeadamente os músculos, recebem informação cerebral para procederem a uma adaptação de maneira a eliminar os desequilíbrios criados. Estas adaptações foram confirmadas por Hudson *et al.* (2005) quando submeteu um grupo de indivíduos a variações positivas e negativas numa plataforma de equilíbrio (as variações positivas seriam no sentido da resposta do indivíduo e as negativas no sentido contrário). Muitos estudos tem sido desenvolvidos para determinar a capacidade de adaptação a variações de movimento e qual o papel da aprendizagem nestas adaptações. A maior parte deles através de variações numa alavanca de forças controlado pelo braço do sujeito (Richardson *et al.*, 2006; Tcheang *et al.*, 2007; Davidson and Wolpert, 2006; Vangheluwe *et al.*, 2006; Cothros *et al.*, 2006)

É normal que o nosso cérebro possua sistemas de adaptação a variações de movimento, presentes em muitas das nossas acções do dia a dia e principalmente ao nível dos movimentos desportivos, onde o recurso a adaptações na variação são fundamentais para o sucesso de um gesto (Lackner, 2005).

Todos os processos estudados de consolidação motora são fundamentais para compreendermos como e em que circunstâncias ocorrem. Porém, muito do trabalho desenvolvido na área do comportamento motor envolve um número muito pequeno de paradigmas intensamente aprofundados, limitando drasticamente a certeza nas conclusões e discussões apresentadas. Assim sendo, esta área carece de novas investigações com paradigmas experimentais onde se possam comprovar ou refutar os processos e as circunstâncias envolvidas na consolidação e adaptação motora. Apenas desta forma conseguiremos criar modelos fidedignos e passíveis de serem utilizados na melhoria dos protocolos de aprendizagem motora, quer em atletas quer em pessoas em recuperação motora.

A adaptação a uma nova tarefa motora é muitas vezes um processo lento, mas por outro lado a re adaptação pode ser extremamente rápida (Davidson *et al.*, 2004). Tão rápida que, mesmo durante a aprendizagem de um gesto desportivo, vemos indivíduos a executarem o mesmo gesto inúmeras vezes, se este for sujeito a variações, para atingirem a performance desejada, e muito poucas quando o voltam a efectuar depois de já o terem aprendido e sem a presença dessas variações. Segundo Davidson *et al.* (2004) esta diferença pode ser entendida partindo do pressuposto de que o sistema nervoso central possui um modelo nulo para a realização da tarefa e um modelo auxiliar para ajustes na realização da tarefa quando esta necessita adaptações. Assim o indivíduo consegue re-adaptar-se rapidamente “desligando” este modelo auxiliar.

Quando um movimento é efectuado lentamente consegue ser corrigido através de feedbacks instantâneos fornecidos pelo nosso sistema sensorial. No entanto, à medida que a complexidade e a velocidade aumentam, sentimos que, para termos sucesso na tarefa, é necessária uma aprendizagem da sequência e dos gestos envolvidos na tarefa (Broussard *et al.*, 2006).

Aprendizagem Motora e Crianças

A aprendizagem motora tem uma grande importância durante os primeiros anos de vida, visto que é durante um determinado período crítico que se encontram reunidas as condições neurológicas fundamentais à criação de procedimentos motores e de programas motores com os quais a criança, e mais tarde o adulto, vai desenvolver estratégias de adaptação e resposta às situações quotidianas mais simples e até mesmo aos complexos gestos motores especializados, como no desporto.

Desde há muito tempo que se compreendeu que os gestos motores conseguem ser automatizados após uma aprendizagem, e que conseguimos efectuá-los de forma automática, ou seja, sem pensarmos nos mesmos quando os executamos (Bernstein, 1967). Até mesmo as tarefas mais complexas podem ser automatizadas se sujeitas a um longo período de treino (Wu *et al.*, 2004).

Muitas destas tarefas mais complexas, tal como as simples, depois de automatizadas podem ser executadas repetidamente, de uma forma cíclica, sem grandes alterações nos padrões de performance .

No que diz respeito às crianças, a aprendizagem de tarefas motoras cíclicas e de tarefas motoras discretas, tal como nos adultos, mostra uma melhor performance para as primeiras, apresentando no entanto uma menor velocidade de execução (Bouwien, 2006). De acordo com este autor, as diferenças na execução destes dois tipos de tarefas são consistentes com a hipótese de que as tarefas cíclicas recorrem a osciladores neuronais mas ambas apelam a diferentes estruturas neuronais para a sua execução (Schaal, 2004). Significa isto que os movimentos cíclicos não são uma simplificação dos movimentos discretos, mas devem a sua facilidade de execução a osciladores neuronais.

No âmbito da memória motora e nomeadamente da consolidação de tarefas motoras, quer os adultos quer as crianças desenvolvem automatismos (consolidação) que lhes permitem realizar duas ou mais tarefas em simultâneo sem que haja interferência entre elas. No entanto, as crianças só a partir dos 10 anos de idade apresentam valores de coordenação entre duas tarefas que envolvam membro superior e membro inferior em simultâneo, idênticos aos adultos, como foi confirmado no estudo de Getchell (2003) onde crianças com 4, 6, 8 e 10 anos foram sujeitas a tarefas simultâneas de bater palmas enquanto andavam e enquanto galopavam.

Por ser de extrema importância o desenvolvimento da aprendizagem motora nas idades mais precoces e com períodos críticos de aprendizagem tão marcados, alguns dos

estudos que cruzam a aprendizagem motora nas crianças com problemas patológicos revelam-se fundamentais para compreender de que forma as patologias afectam e são afectadas no controlo e aprendizagem motora. O estudo de movimentos associados, ou seja, os movimentos involuntários que ocorrem em partes do corpo não activas, são importantes para a melhoria da aprendizagem, por interferirem com a eficácia biomecânica, gasto energético e performance desportiva (Licari *et al.*, 2006) e por estarem muitas vezes associados a crianças com hiperactividade e grandes dificuldades de aprendizagem (Lazarus, 1994). De acordo com Licari *et al.* (2006), existe uma ligação entre os movimentos involuntários (associados) e o nível de performance motora, sugerindo que a severidade destes movimentos reflecte a severidade dos movimentos motores.

Além das patologias congénitas das crianças, podemos no dia a dia estar sujeitos a exposições ambientais de químicos ou outras substâncias que intervêm no processo de desenvolvimento neurológico e nomeadamente, naquilo que possa interferir com o desenvolvimento neuromotor. Apesar da grande maioria dos testes realizados nesta área envolverem adultos, consegue-se fazer uma boa ponte para se avaliar a exposição a estas substâncias neuro nocivas em crianças. No sentido de se compreender melhor o efeito da exposição de crianças a substâncias químicas nocivas ao seu desenvolvimento, Davidson *et al.* (2006), validaram de uma bateria de 63 testes e tarefas de neuro-desenvolvimento para avaliar os défices causados por exposições a substâncias neurotóxicas em crianças com idade escolar. O desenvolvimento desta bateria tenta de alguma forma servir de complemento a testes de medidas globais, como testes de QI ou outros semelhantes que subavaliem o desenvolvimento das variantes motoras.

Além da execução de alguns gestos motores que são fundamentais a um desenvolvimento harmonioso da motricidade da criança, a linguagem e, nomeadamente, a leitura, enquanto resultado da construção e automatização de sequências motoras verbais, é assumida como um dos núcleos de estudo na área da memória motora e da sua consolidação. Além das crianças, também indivíduos em recuperação de Acidentes Vasculares Cerebrais ou outras patologias que afectam directa ou indirectamente a fala são essenciais na compreensão da consolidação da memória motora. Assim, têm sido desenvolvidos vários estudos que procuram compreender a influência da aprendizagem motora em indivíduos disléxicos (Stoodley *et al.*, 2006), ou relacionar a capacidade para a leitura com a aprendizagem de sequências motoras (Waber *et al.*, 2003).

Aprendizagem Motora e Idosos

Também nos idosos, e por serem cada vez mais um segmento da população em crescimento, devido ao aumento da esperança média de vida nas últimas décadas, o número de idosos poderá duplicar o número de jovens nos próximos anos (INE, 2007). Pelo sistema nervoso central das populações mais envelhecidas apresentar alguns défices no processo de aprendizagem motora, são também uma população que apresenta uma maior lentidão em performances de sequências motoras, comparativamente aos adultos mais novos entre os 19 e 23 anos (Shea, *et al.*, 2006). Nesta investigação, os testes de retenção ou reconhecimento não se verificam diferenças, mas os indivíduos mais idosos apresentam também maior lentidão quando são apresentadas sequências repetidas. Segundo alguns autores (Shea *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2004) os adultos organizam os elementos que compreendem uma sequência numa série de subsequências contínuas. A falta desta organização em subsequências nos idosos pode ser devido a vários factores como a deterioração sensorial, redução da velocidade perceptiva, diminuição da capacidade de memorização, medicação e/ou algumas doenças.

Ao contrário da redução na aprendizagem motora em adultos mais velhos, as memórias motoras têm a capacidade de ser evocadas pelo menos até dois anos depois de terem sido adquiridas em idosos normais, segundo o estudo longitudinal de Smith *et al.*, 2005, contrastando com as reduções verificadas nos processos motores e cognitivos devido ao envelhecimento. Tem sido confirmado que o tempo de reacção e a velocidade de execução de gestos motores diminuem progressivamente com o avanço da idade (Desrosiers *et al.*, 1999; Fozard *et al.*, 1994; Kubeck *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1999), o que significa que a memória de procedimentos tem um declínio menos acentuado que outras capacidades motoras.

É muito importante ter em conta os testes aplicados para predizer o declínio do sistema nervoso central face ao avanço da idade, bem como os procedimentos utilizados quando se treinam indivíduos mais velhos no que diz respeito a tarefas motoras, visto que a aprendizagem desta pode ser potenciada com execução e observação da tarefa, o que já não se verifica se existir simplesmente observação ou execução isoladas (Celnik *et al.*, 2006). Esta codificação da memória motora após protocolos de aprendizagem apresenta um declínio em adultos mais velhos (Sawaki *et al.*, 2003).

Actividade Física e Funções Cerebrais

Os últimos anos têm trazido uma melhoria da imagem da actividade física no quotidiano e uma tentativa de implementação de hábitos de vida saudáveis através da prática de uma actividade física regular. Desde o início do século que sabemos que o exercício físico provoca melhorias significativas no bem estar geral do corpo humano e que a sua prática regular pode mesmo ter efeitos positivos, não só na esperança média de vida, mas também na melhoria de outras funções como as cognitivas (Brisswalter *et al.*, 2002; Burger and Gochfeld, 2004; Scherder *et al.*, 2005)

No entanto, ao longo dos últimos anos, principalmente devido ao avanço das neurociências, muitos investigadores têm-se questionado acerca dos benefícios de uma actividade física regular nos processos cerebrais e têm mesmo encontrado correlações positivas entre ambas (Winter *et al.*, 2007). Vários estudos têm mesmo encontrado uma relação que aponta o exercício físico como um factor de redução do risco de aparecimento de doenças neurodegenerativas (Larson *et al.*, 2006; Abbott *et al.*, 2004; Eggermont *et al.*, 2005)

Neste sentido poderíamos dividir o exercício físico em actividades que requerem grande solicitação cerebral para o sucesso da mesma e aquelas em que o indivíduo desenvolve a actividade à custa de um grande aumento do metabolismo energético, ou seja, nas quais os gestos motores desenvolvidos já se encontram completamente automatizados e não implicam grande controlo ou evocação motora (corrida, natação, ciclismo, etc). Neste tipo de desportos, o indivíduo desenvolve uma actividade onde a solicitação cerebral a nível de todos os processos que temos analisado até agora, possivelmente não se encontra muita activa, ou seja, são gestos motores que conseguem ser desenvolvidos por qualquer ser humano normal sem necessidade de grande intensidade de treino técnico dos mesmos. Além disso, são modalidades onde vemos melhorias da performance serem feitas à custa de aumentos na velocidade, resistência, ou força e menos da coordenação ou controlo motor. Por outro lado, modalidades como a ginástica, esgrima, karaté, onde o controlo motor do corpo para o sucesso da mesma é elevado, assistem a aumentos da performance à custa de indivíduos com um elevado domínio do corpo e consequentemente das funções cerebrais que se encontram por detrás desses resultados motores.

O cérebro e todas as estruturas envolvidas na execução de um gesto, na consolidação da memória motora e na evocação dessas mesmas memórias detêm um papel fundamental neste tipo de actividades.

Uma dúvida que se poderá colocar passa pelo facto de que, se com o aumento desta solicitação cerebral quando desenvolvemos gestos complexos, teremos ou não uma melhoria na capacidade de adquirir mais facilmente novos gestos motores e mesmo desenvolver melhor outros processos cognitivos devido a factores como a plasticidade sináptica criada a partir da estimulação neuronal constante.

Além desta influência entre actividade física e cerebral, este campo encontra uma importante ligação do desporto com a performance cognitiva, no sentido de se otimizar a prestação desportiva de atletas dentro de campo, nas modalidades colectivas principalmente, dado que estes são constantemente sujeitos a decisões e a um elevado número de informações cognitivas num curto espaço de tempo e com uma elevada activação física (Brisswalter *et al.*, 2002). Nesta revisão, o autor faz um resumo dos estudos desenvolvidos na última década que relacionam a intensidade do exercício físico com a performance cognitiva encontrando uma correlação positiva na maioria dos estudos entre aumento da intensidade e melhoria das funções cognitivas testadas. O autor apresenta uma hipótese para esta melhoria suportada pelo limiar de libertação da adrenalina entre os 40% e os 80% do VO₂max.

Atletas vs Sedentários

Em todos nós a aprendizagem de tarefas motoras com auxílio de feedbacks surte um efeito mais positivo do que sem esse feedback, independentemente da sua origem ou tipo. No entanto, e desde sempre, a aprendizagem de qualquer gesto motor é mais rápida ou mais eficiente nuns indivíduos do que noutros. Segundo Fox *et al.* (1996), após a realização de um estudo com gémeos monozigóticos e dizigóticos, concluiu-se que o factor treino promove principalmente a diminuição dos factores ambientais, ou seja, treino e vivências anteriores, acentuando as diferenças genéticas na performance motora. Esta conclusão pode remeter-nos para o facto de que, cada vez mais, o nível de performance alcançado pelos nossos melhores atletas na alta competição se encontra em muito determinado pelas condicionantes genéticas, após limadas pelos melhores processos de treino.

Além de todas as características que podem afectar a performance de um atleta, desde há alguns anos que se procura entender os efeitos da actividade física nas funções cognitivas cerebrais. Pela importância cada vez mais atribuída à actividade física como um dos principais factores responsáveis pelas melhorias na saúde quando praticada com

regularidade (Barata, 1997), devido à sua associação à melhoria e diminuição do risco de doenças cardiovasculares. Pela grande importância que tem o sistema nervoso e, nomeadamente, as estruturas envolvidas directamente no controlo, aprendizagem e execução motoras, tem-se procurado entender quais os efeitos da actividade física regular nas funções cognitivas e a sua interferência positiva a longo prazo em muitos dos processos cerebrais.

No entanto, este tipo de investigação depara-se com um problema metodológico na relação dos efeitos da actividade física com as performances cognitivas, devido ao facto de a maioria dos estudos serem direccionados para os efeitos fisiológicos da actividade física e não para os processos cerebrais decorrentes das próprias tarefas motoras. Este facto deve-se aos sistemas de neuro análise não serem ainda suficientemente portáteis para efectuarem medições durante o decorrer da actividade física e condicionarem a recolha fiável dos dados.

Desta forma, os efeitos da actividade física nos processos cerebrais, bem como a interpretação das funções cerebrais no decorrer da actividade física, ficam para já limitadas a estudos de medição indirecta e à conjugação desses dados com as análises das funções cerebrais efectuadas em repouso através de Ressonância Magnética Funcional, PET, Electroencefalografia, ou mesmo dados recolhidos de animais inferiores.

A maior parte dos estudos desenvolvidos no campo da memória motora apresentam paradigmas muito semelhantes mas, acima de tudo, populações muito semelhantes. Todos sabemos que temos mais sucesso a desenvolver determinada tarefa e menos a desenvolver outras. No caso dos gestos motores, também existem indivíduos com maior capacidade para aprenderem determinados gestos motores que outros, visto que podemos atingir uma performance motora com várias execuções e outro indivíduo chegar a performances excelentes com muito menos tentativas.

O desporto, e principalmente os atletas de alta competição, são hoje em dia, devido ao elevado nível de exigência das competições mundiais, um excelente campo de pesquisa por terem uma capacidade inata de aprendizagem motora e execução de performances elevadíssimas, comparativamente a indivíduos normais. Este nível elevado em que se encontram as competições desportivas mundiais impedem que um indivíduo que não seja geneticamente “desenhado” para tal tarefa seja capaz de atingir essas performances, mesmo que tenha sido submetido aos melhores processos de treino. No entanto, isto não

significa que estes indivíduos não necessitem de treino, mas que apenas a conjugação destes dois factores (os melhores processos de treino e as condicionantes genéticas) permitem o alcançar destes resultados. Alguns estudos já foram desenvolvidos em atletas, incluindo estudos em indivíduos gémeos para compreender a influência da genética na actividade física, como por exemplo Sapage (2004) que encontrou uma magnitude substancial dos efeitos genéticos nos níveis e padrões de actividade física. O aumento da pesquisa nesta perspectiva é fundamental para conseguirmos não só um melhor conhecimento de todos estes processos cerebrais, mas também para melhorar os programas de treino quer de atletas de alto rendimento quer de pessoas em recuperação motora após lesões cerebrais, para quem os protocolos de treino detêm uma importância substancial.

3. HIPOTÉSES

De acordo com os objectivos do nosso estudo e a revisão bibliográfica efectuada, apresentamos aqui algumas hipóteses de resultados:

- Ambos os grupos (Atletas e Sedentários) apresentam uma melhoria dos resultados 24 horas após o treino.
- A melhoria destes resultados, ou seja, a capacidade de consolidação da memória motora é mais significativa em atletas.
- Pelo facto de recorrerem a estruturas neuronais diferentes para consolidar a memória motora, os resultados podem ser diferentes entre os 5 testes efectuados, quer dentro do mesmo grupo, quer entre os dois grupos (Atletas vs Sedentários)

4. METODOLOGIA

Amostra

A amostra foi constituída por dois grupos de sujeitos saudáveis, com idades compreendidas entre os 18 e os 30 anos, sem passado de doença neurológica e/ou motora.

Todos os indivíduos possuem pelo menos o 9º ano de escolaridade ou equivalente.

A amostra é composta por 41 sujeitos dos quais 21 são do sexo masculino e 20 do sexo feminino. Esta amostra divide-se em dois grupos: Atletas (grupo 1) e Sedentários (grupo 2).

Grupo 1: Constituído por 20 indivíduos (12 do sexo masculino e 8 do sexo feminino), atletas de competição na modalidade de trampolins e ginástica acrobática, com uma frequência de prática desportiva de, pelo menos, 4 treinos semanais e com experiência na modalidade de 4 anos ou mais.

Os indivíduos do grupo 1 são atletas inscritos na Federação Portuguesa de Trampolins e Desportos Acrobáticos e participantes regulares em provas de competição nacional.

A amostra do grupo 1 foi recolhida nos clubes de ginástica: Gimnofaro, Louletano e Fareense. A escolha destes clubes foi feita por proximidade geográfica e facilidade na recolha dos dados.

Grupo 2: Constituído por 21 indivíduos, 9 do sexo masculino e 12 do sexo feminino, sedentários sem qualquer prática desportiva regular importante e sem experiência de uma actividade desportiva orientada e regular.

Os dados do grupo 2 da amostra foram recolhidos entre alguns funcionários do Instituto Superior Dom Afonso III e outros voluntários sem ligação institucional.

Tabela descritiva da amostra

	n	Média	Máximo	Mínimo
Idades	41	23,60	30	16
		Actividade Física (dias/semana)		
Atletas	20	6,25	7	4
Sedentários	21	0,52	2	0

Aplicação do Protocolo

A aplicação dos testes foi efectuada no dia 1, onde os indivíduos desenvolvem a aprendizagem das tarefas descritas a seguir e no dia 2, 24 horas depois, onde foi verificada a consolidação da memória motora nas diferentes tarefas.

Tarefas

Foram escolhidas 5 tarefas motoras que demonstrem a consolidação da memória motora em diferentes acções fundamentais à performance desportiva; Digital Tapping Task; (Sequência de números); Reaction Time Task (Tempo de Reacção); Circuito Eléctrico (Coordenação Visuo-Motora); Pouring Task (Coordenação Visuo-Motora) e Equilíbrio (Teste de Equilíbrio).

Os sujeitos foram testados individualmente numa sala silenciosa, sem outros estímulos visuais ou auditivos.

Digital Tapping Task (Sequência de números)

Descrição: A tarefa da sequência digital é desenvolvida para avaliar a capacidade que o indivíduo possui para automatizar uma sequência de movimentos.

Aqui o indivíduo aprende uma sequência de 5 números (4 transições) através da repetição da mesma o mais correcto e rápido possível, durante 30 segundos em 12 séries, com um intervalo de 30 segundos entre cada série.

A sequência digital é efectuada num teclado padrão de computador.

A sequência apresentada é: 1_3_2_4_2

Instruções: É apresentada ao indivíduo a sequência de números e pedido que repita essa mesma sequência, o maior número de vezes possível durante 30 segundos, no teclado do computador com os dedos em cima das teclas correspondentes a cada dedo. Tecla 1 correspondente ao 2ºdedo; Tecla 2 correspondente ao 3º dedo; Tecla 3 correspondente ao 4º dedo e a tecla 4 correspondente ao 5º dedo.

Medições: É contabilizado o número de vezes que a sequência é repetida correctamente. A *base line* é o valor da primeira série e a performance pós treino é a média das 3 últimas séries.

Re teste: 24 horas depois da aprendizagem, efectuem-se 3 séries, e calcula-se a respectiva média.

Reaction Time Task (Tempo de Reacção)

Descrição: A tarefa de Tempo de Reacção é utilizada para avaliar o tempo que o indivíduo demora a efectuar uma resposta motora a um determinado estímulo. Além disso é testado a consolidação da memória motora após aprendizagem dessa mesma resposta de reacção ao estímulo.

Esta tarefa consiste em primir uma tecla assim que é visualizado um estímulo no ecrã do computador. Este estímulo é a mudança de uma luz vermelha para verde. Assim que aparece a luz verde no ecrã o indivíduo deve primir a tecla o mais rápido possível.

Aparato e Estímulo: Será utilizado o “The Online Reaction Time Test” de Allen, 2002

Instruções: É dito ao indivíduo para aguardar pela luz verde. Assim que a luz ficar verde, este deve clicar na tecla de espaços com a mão direita (dominante) o mais rápido possível. Enquanto o indivíduo aguarda pela luz verde, as mãos devem estar colocadas ao lado do computador, direito e esquerdo respectivamente, com a região palmar totalmente apoiada e os dedos em total extensão.

Medições (Dia 1): São efectuadas 30 medições em 6 séries de 5 medições cada série. A *base line* é a média das 5 primeiras medições, e a performance pós-treino é a média das 5 últimas medições.

Re teste (Dia 2): É efectuado um re-teste 24 horas depois da aprendizagem. Aqui são feitas 5 medições (1 série) e a performance re-teste é a média dessas 5 medições.

Circuito eléctrico (Coordenação Visuo-Motora)

Descrição: A Tarefa do circuito eléctrico é utilizada para avaliar a coordenação visuo-motora, que o indivíduo possui para percorrer um determinado percurso eléctrico com uma argola de metal envolvendo a relação do corpo com outro objecto.

Esta tarefa consiste na realização de um percurso eléctrico com uma argola metálica sem que esta toque no circuito durante 12 vezes. Cada vez que a argola entra em contacto com o circuito, ouve-se um som (sinónimo de erro).

Dimensões: O circuito eléctrico tem 65 cm lineares e 9 mudanças de direcção. A argola possui 1,5cm de diâmetro.

Instruções: É solicitado ao indivíduo que percorra o circuito eléctrico durante o menor tempo possível e com o menor número de erros possível. O número de erros equivale ao número de vezes que a argola toca no circuito.

Medições: Em cada série é contabilizado o número de erros, ou seja, o número de vezes que a argola toca no circuito eléctrico (penalização de 3 segundos por cada erro) e o tempo que o indivíduo demora a percorrer todo o circuito.

A *base line* de aprendizagem é o valor da primeira série e a performance pós treino é a média das 3 últimas séries.

Re teste: No re teste, efectuado 24 horas depois da aprendizagem, efectuam-se 3 séries e calcula-se a respectiva média.

Pouring Task (Coordenação Visuo-Motora)

A tarefa de pouring task foi desenvolvida por Cavaco (2004), tentando discriminar tarefas do dia-a-dia. Este teste consiste em verter 200ml de água a partir de um recipiente para oito cilindros graduados a 20cm acima destes.

O aparato inclui um recipiente com água com uma saída de 7mm de diâmetro, oito cilindros graduados com 2cm de diâmetro cada um. Os oito cilindros estão colocados numa armação de plástico (60cm x 40cm x 30cm). Além disto existe também uma barreira em arame a 20cm de altura sobre os cilindros, prevenindo que a água seja vertida mais próximo que esta distância. Cada cilindro possui uma linha preta que marca os 25ml.

Instruções: É dito a cada sujeito para verter a água a partir do recipiente para cada cilindro, até à marca de cada um. Esta tarefa deve ser desempenhada o mais rápido possível. A tarefa é desenvolvida seis vezes consecutivas (seis séries) no dia 1.

Medições: A medida retirada é o volume total conseguido nos oito cilindros, excluindo o líquido colocado além da marca e o líquido que sair para fora dos cilindros. A acuidade é medida através do líquido que não pode ser derramado fora dos cilindros. A *base line* é o valor da primeira série e a performance pós treino é a média das últimas duas séries.

Re Testes: É efectuado 24 horas depois com três séries. Calcula-se a média das 3 séries.

Equilíbrio

Descrição: A tarefa de equilíbrio é utilizada para avaliar a capacidade que o indivíduo tem para aprender uma tarefa motora com adaptações constantes ao longo da tarefa. Estas adaptações são efectuadas como resposta a variações no equilíbrio corporal durante a execução da tarefa.

A tarefa é desenvolvida num disco Fitterfirst (USA Patent: 5.810.703) com 40,6cm de diâmetro com uma base de $\frac{1}{4}$ de esfera com 13cm de diâmetro e com uma altura ao solo de 5cm, levando o indivíduo a procurar adaptações corporais constantes para responder aos desequilíbrios provocados pela sua posição em cima do disco. Os pés do indivíduo encontram-se ambos na região superior do disco afastado à largura dos ombros.

Instruções: O indivíduo efectua uma aprendizagem de equilíbrio no disco Fitterfirst em 30 segundos durante 12 séries com 30 segundos de intervalo entre cada série sobre.

Medições: É contabilizado o número de erros, ou seja, o número de apoios do disco no chão durante cada série. A performance pós treino é a média das 3 últimas séries e a *base line* é o valor da primeira série.

Re teste: 24 horas depois da aprendizagem, efectuam-se 3 séries e contabiliza-se a média das 3 séries.

5. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados apresentados derivam de três medidas em momentos diferentes com o objectivo de se diferenciar a performance de todos os indivíduos durante o processo de aprendizagem e consolidação das diferentes tarefas:

1. No início da aprendizagem, ou seja, na primeira execução de cada tarefa;
2. Após o processo de aprendizagem no primeiro dia, que resulta na performance pós treino
3. O último momento de medida resulta da execução das tarefas 24 horas após o processo de aprendizagem de maneira a se verificar a consolidação da memória motora sem treino adicional.

Estes três momentos são denominados respectivamente de:

1. Base Line
2. Performance Pós Treino
3. Performance Dia 2 (24 horas após treino)

Todas as diferenças apresentadas são valores significativos para $p < 0,05$ efectuados a partir da comparação das médias dos indivíduos dos dois grupos, atletas e sedentários. Foi utilizado o teste t para amostras independentes quando se compararam os atletas com os sedentários e o testes t para amostras emparelhadas quando se compararam as médias dentro do mesmo grupo (atletas ou sedentários). Os valores de p são apresentados nas tabelas e a visualização das diferenças através de gráficos.

1. Digital Tapping Task

Estatística Descritiva Digital Tapping Task (Atletas)

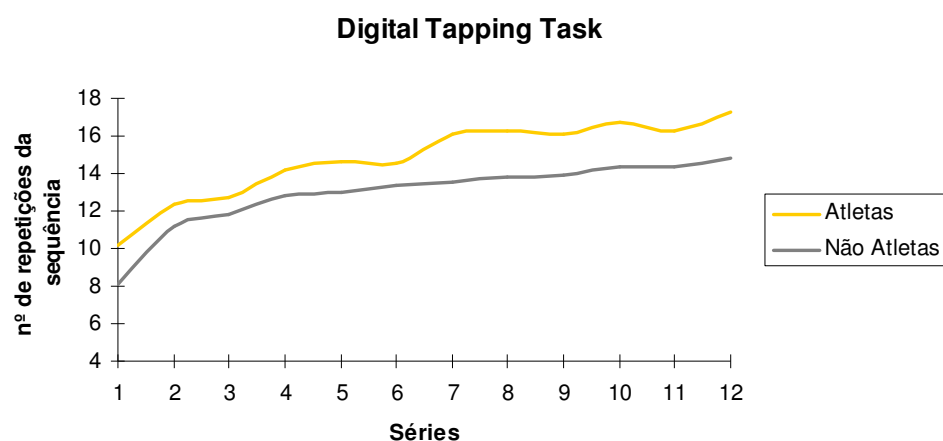
	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
DTT Base Line	20	1	19	10,20	4,86
DTT Pós Treino	20	10	23	17,30	3,70
DTT Dia 2	20	14	31	21,07	5,17

Tabela 1.1

Estatística Descritiva Digital Tapping Task (Sedentários)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
DTT Base Line	21	1	16	8,05	4,20
DTT Pós Treino	21	10	30	14,86	5,36
DTT Dia 2	21	6	32	17,22	6,75

Tabela 1.2



Graf. I – Evolução durante o processo de aprendizagem na Digital Tapping Task

A aprendizagem de tarefas motoras que impliquem sequências e que conseguem ser automatizadas foram executadas neste protocolo através de uma sequência digital de números e demonstraram uma aprendizagem efectiva da tarefa em todos os indivíduos. Aqui os indivíduos foram sujeitos a uma tarefa onde tinham que repetir correctamente a mesma sequência de números o maior número de vezes possível durante 30 segundos. No gráfico anterior é possível notar uma ligeira tendência para os atletas terem valores

absolutos de aprendizagem superiores, ou seja, uma capacidade superior, para quando submetidos à mesma tarefa, produzirem resultados mais eficientes. A discussão desta tarefa irá focar efectivamente a utilização, ou a necessidade de se construir uma sequência motora a nível cerebral e/ou cerebelar de maneira a ter sucesso na tarefa e as suas particularidades com os atletas da modalidade de ginástica acrobática e trampolins.

Teste t Digital Tapping Test (Atletas)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Base Line - DTTpóstreino	-6,566	3,084	-9,522	0,001
DTTpóstreino - DTTdia2	-4,305	2,732	-7,049	0,001

Tabela 1.3

Teste t Digital Tapping Test (Sedentários)

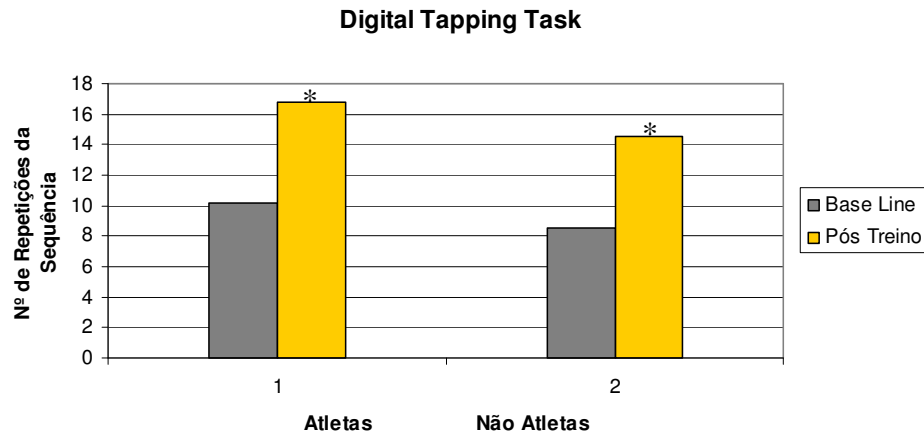
	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Base Line – DTTpóstreino	-6,444	3,264	-9,049	0,001
DTTpóstreino - DTTdia2	-2,731	2,735	-4,576	0,001

Tabela 1.4

Teste t Digital Tapping Test (Atletas vs Sedentários)

	T	Df	Bidireccional p
DTT Base Line	1,513	37,576	0,139
DTT Pós Treino	1,541	35,474	0,132
DTT Dia 2	2,056	37,323	0,047

Tabela 1.5



Graf. II - Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Digital Tapping Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$.

Completando um pouco a curva de aprendizagem apresentada no gráfico I visualizamos aqui no gráfico II a grande diferença entre os valores Base Line e os valores Pós Treino em ambos os grupos tal como pode ser comprovado pelos valores de p na tabela 1.3 e 1.4. A construção cerebral de sequências motoras é uma aprendizagem efectiva, quer em atletas, quer em sedentários. No entanto, essa aprendizagem não é mais significativa em atletas do que em não atletas.

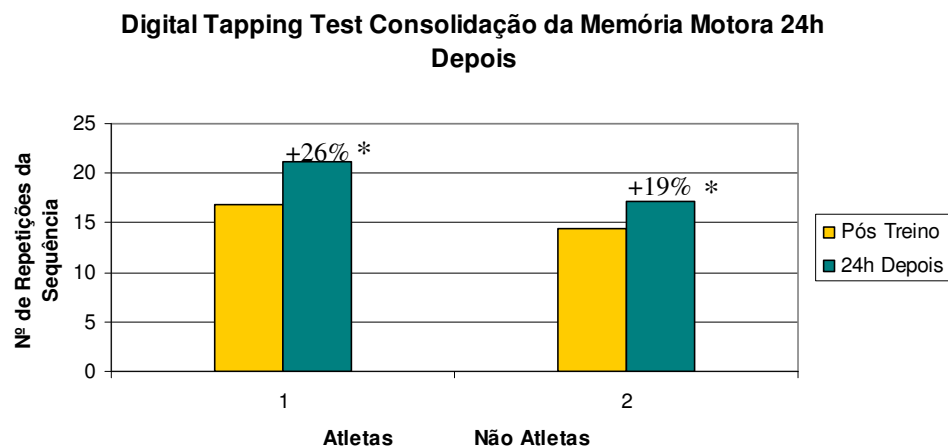


Gráfico III – Consolidação da memória motora 24 horas após a aprendizagem no Digital Tapping Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

Quando procuramos os efeitos da consolidação da memória motora verificamos uma melhoria da performance da tarefa medida 24 horas depois da aprendizagem e sem treino adicional. Este facto verifica-se em ambos os grupos ($p < 0,05$ na tabela 1.3 e 1.4) e tem a particularidade de ser mais intenso em atletas face ao valor de $p = 0,047$ (Tabela 1.5) na comparação de medições efectuadas 24 horas depois. Isto significa que após o processo de aprendizagem de uma sequência motora, os atletas têm mais capacidade para consolidar a sequência aprendida.

Mesmo em não atletas um aumento de 19% na performance de sequências motoras sem treino adicional é significativo. No entanto, os atletas aumentaram 26% a sua performance, sendo um aumento significativo não só relativamente à performance Pós Treino, mas também uma diferença significativa comparativamente com o aumento de 19% dos não atletas (Gráfico III).

Nesta tarefa os atletas tiveram uma melhoria de 107% desde a Base Line até à medição efectuada 24 horas após o processo de aprendizagem/treino, em que 26% desse aumento de performance foi obtido após o treino, sem qualquer recurso a nova execução da tarefa. Aproximadamente $\frac{1}{4}$ da performance resulta da consolidação da memória motora após o treino. No capítulo da Discussão serão abordadas algumas possíveis razões para este facto.

2. Reaction Time Test

Estatística Descritiva Reaction Time Task (Atletas)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
RTT Base Line	20	0,4118	0,7518	0,5909	0,0883
RTT Pós Treino	20	0,3838	0,6860	0,5196	0,0825
RTT Dia 2	20	0,3785	0,7915	0,5049	0,0862

Tabela 2.1

Estatística Descritiva Reaction Time Task (Sedentários)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
RTT Base Line	21	0,5052	0,8173	0,6446	0,0830
RTT Pós Treino	21	0,4049	0,7050	0,5542	0,0704
RTT Dia 2	21	0,3941	0,6252	0,5308	0,0546

Tabela 2.2

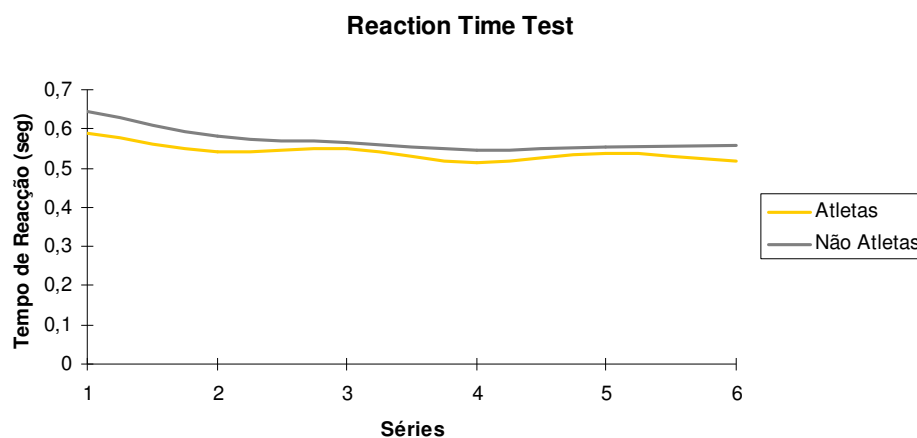


Gráfico IV – Evolução durante o processo de aprendizagem no Reaction Time Test

Neste gráfico é apresentada a evolução do processo de aprendizagem na tarefa do tempo de reacção.

Cada uma das seis séries é constituída por cinco execuções de resposta a um estímulo, o que totalizou 30 execuções. Apesar de em todas as execuções o tempo em que surgia o estímulo para o indivíduo executar a resposta ser aleatório, verificou-se uma aprendizagem ao longo do processo, quer em atletas, quer em não atletas. Esta situação

pode ser verificada no gráfico e na tabela seguintes. A curva de aprendizagem possui um declive muito pouco acentuado, mas que no entanto, se traduz numa aprendizagem através da redução no tempo de reacção. Dado que o estímulo para provocar a resposta tinha tempos de aparecimento aleatórios a aprendizagem pode ter interferência no processo motor da própria tarefa, na preparação cerebral da mesma, ou na resposta de identificação o estímulo. Esta situação será abordada mais adiante no capítulo da Discussão.

Teste t Reaction Time Test (Atletas)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
RTT Base Line – Pósreino	0,068	0,089	3,401	0,003
RTT Pósreino – Dia2	0,018	0,042	1,921	0,070

Tabela 2.3

Test t Reaction Time Test (Sedentários)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
RTT Base Line – Pósreino	0,093	0,080	5,351	0,001
RTT Pósreino - Dia2	0,021	0,026	3,681	0,001

Tabela 2.4

Teste t Reaction Time Test (Atletas vs Sedentários)

	T	Df	Bidireccional p
RTT Base Line	-2,004	38,516	0,052
RTT Pós Treino	-1,370	37,894	0,179
RTT Dia 2	-1,144	31,856	0,261

Tabela 2.5

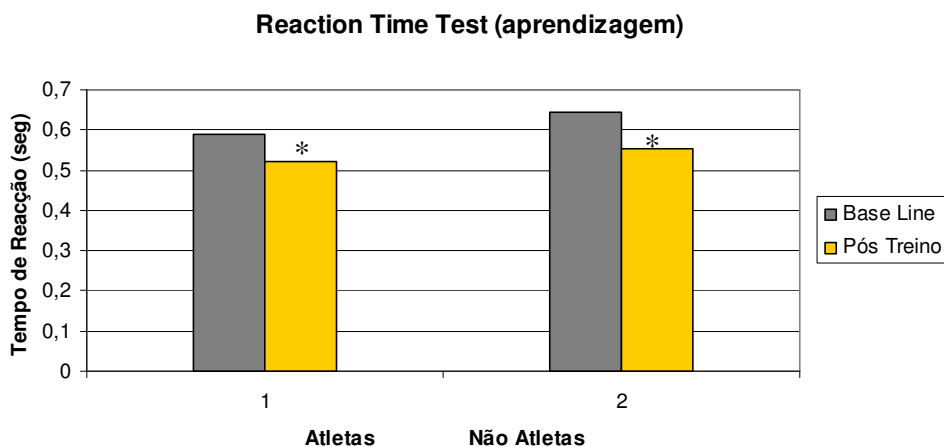


Gráfico V – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Reaction Time Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

Neste segundo gráfico referente ao tempo de reacção dos indivíduos podemos verificar uma diminuição significativa no tempo de reacção em ambos os grupos. No entanto, apesar dos valores da aprendizagem da Base Line para o Pós Treino serem ligeiramente mais baixos no grupo dos atletas, não se verificam diferenças significativas destes quando comparados com os sedentários.

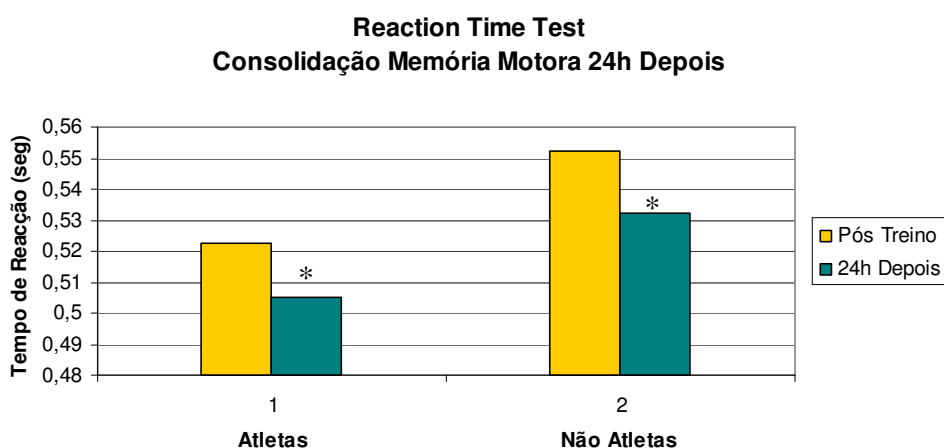


Gráfico VI – Consolidação da memória motora 24 horas após aprendizagem no Reaction Time Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

Quando observamos o processo de consolidação da memória motora referente ao tempo de reacção (gráfico VI), verificamos uma diferença significativa dentro de cada grupo, mas não se encontra uma distinção entre o grupo dos atletas e o grupo dos sedentários (tabela 2.5). Apesar dos valores dos atletas serem ligeiramente mais baixos, mostrando uma tendência para um menor tempo de reacção em atletas 24 horas após a tarefa. Neste teste, não se verificaram diferenças significativas entre atletas e não atletas em nenhum dos momentos. Porém, em ambos os grupos foi verificada uma consolidação da tarefa no sentido de termos valores mais reduzidos para o tempo de reacção 24 horas após a tarefa verificado no teste t com valores de $p=0,070$ (Atletas) e $p=0,001$ (Não Atletas). Assim, esta consolidação é significativa em ambos os grupos sem existência de treino adicional.

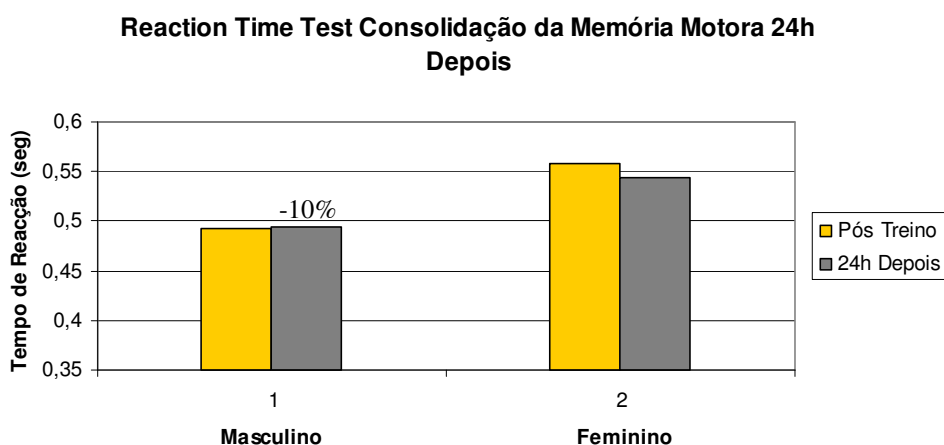


Gráfico VII – Consolidação da memória motora 24h após o processo de aprendizagem no Reaction Time Task em ambos os grupos

Teste t Reaction Time Test (Masculino vs Feminino)

	T	Df	Bidireccional p
RTT Dia2	-2,377	39	0,022

Tabela 2.6

Quando se comparam os indivíduos masculinos e femininos de ambos os grupos, não se verificam diferenças significativas no processo de consolidação. No entanto, o tempo de reacção dos homens é significativamente mais baixo que o das mulheres 24 horas após a mesma tarefa. Nesta situação, a diferença não se refere especificamente ao processo de consolidação, dado que aí não existem diferenças, mas sim aos valores absolutos 24 horas após a tarefa, quando ambos os sexos são sujeitos ao mesmo processo de aprendizagem duma tarefa de resposta em tempo de reacção. Os homens apresentam um tempo de reacção 10% mais baixo que o das mulheres.

3. Circuito Eléctrico

Estatística Descritiva Circuito Eléctrico (Atletas)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Eléctrico Base Line	20	21,00	47,00	29,40	6,90
Eléctrico Pós Treino	20	10,00	38,00	21,70	6,42
Eléctrico Dia 2	20	15,33	37,67	22,74	5,52

Tabela 3.1

Estatística Descritiva Circuito Eléctrico (Sedentários)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Eléctrico Base Line	21	21,00	54,00	33,76	9,27
Eléctrico Pós Treino	21	12,00	39,00	23,52	6,74
Eléctrico Dia 2	21	16,33	38,00	23,57	6,08

Tabela 3.2

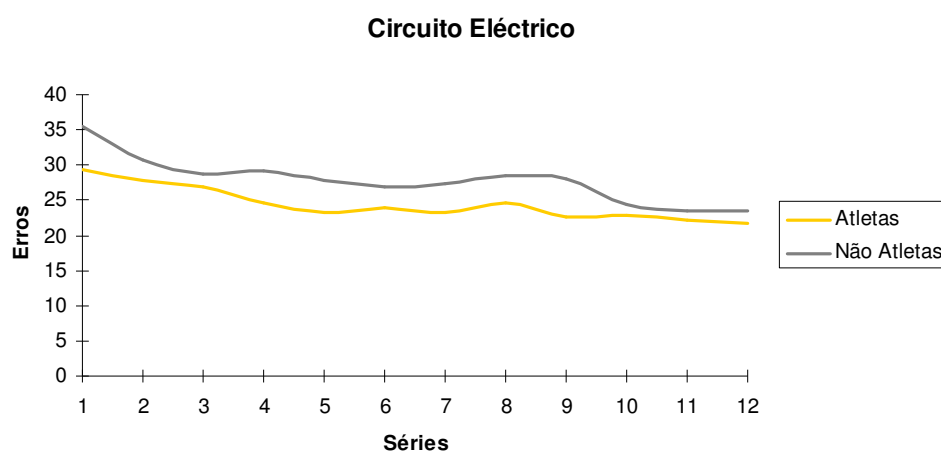


Gráfico VIII – Evolução durante o processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico

O percurso efectuado no circuito eléctrico permitiu após as doze execuções uma melhoria significativa em todos os indivíduos. Significa isto que após este processo de aprendizagem é possível termos uma diminuição no tempo de execução da tarefa, bem como nos erros ao executá-la.

Teste t Circuito Eléctrico (Atletas)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Eléctrico Base Line – Eléctrico Pós Treino	7,201	4,129	7,798	0,001
Eléctrico Pós Treino – Eléctrico Dia 2	-0,544	4,444	-0,548	0,590

Tabela 3.3

Teste t Circuito Eléctrico (Sedentários)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Eléctrico Base Line – Eléctrico Pós Treino	10,016	7,241	6,339	0,001
Eléctrico Pós Treino – Eléctrico Dia 2	0,175	3,815	0,210	0,836

Tabela 3.4

Teste t Circuito Eléctrico (Atletas vs Sedentários)

	t	Df	Bidireccional p
Eléctrico Base Line	-1,715	36,900	0,095
Eléctrico Pós Treino	-0,810	38,904	0,423
Eléctrico Dia 2	-0,457	38,917	0,650

Tabela 3.5

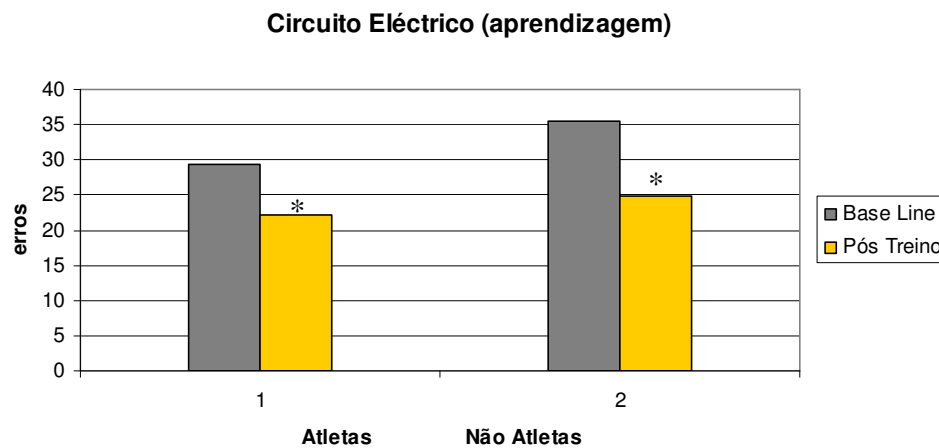


Gráfico IX – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

Neste segundo gráfico da tarefa do Circuito Eléctrico pode-se verificar claramente a aprendizagem em ambos os grupos, reflectida na diminuição do tempo/erros do início da tarefa (Base Line) para a performance Pós Treino.

No entanto, tal como em outras tarefas, os atletas demonstram uma tendência para apresentar melhores performances que os sedentários, mas que não têm expressão estatística significativa como pode ser comprovado pelos valores de $p < 0,05$ na tabela 3.5. Isto significa que ambos apresentam uma aprendizagem da tarefa, mas essa aprendizagem não é maior em nenhum dos grupos.

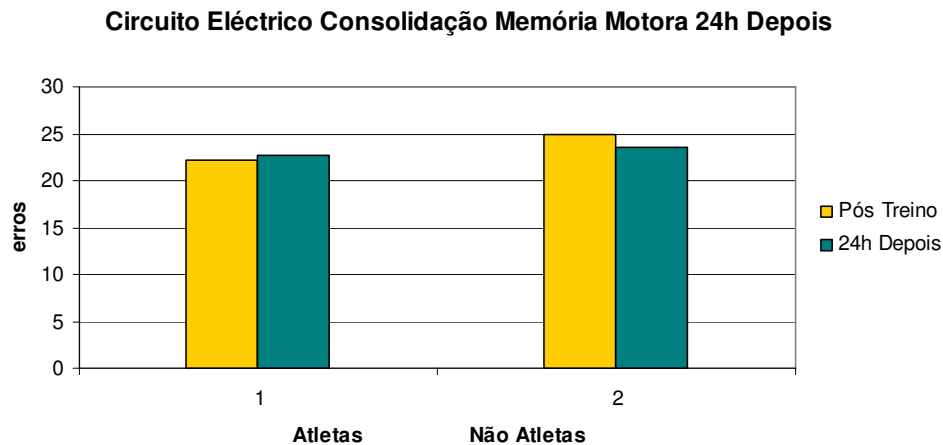


Gráfico X – Consolidação da memória motora após o processo de aprendizagem no Circuito Eléctrico em ambos os grupos

A tarefa do circuito eléctrico não revelou uma melhoria da performance 24 horas após o processo de aprendizagem. Os valores de performance observados no momento Pós Treino são estatisticamente idênticos aos observados 24 horas após a aprendizagem. Esta constatação foi a mesma em ambos os grupos. Os valores de p foram superiores a 0,05.

4. Pouring Task

Estatística Descritiva Pouring Task (Atletas)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pouring Task Base Line	20	10,00	50,00	28,40	8,73
Pouring Task 2 Execução	20	8,00	40,00	20,75	7,24
Pouring Task Pós Treino	20	8,00	23,00	14,85	3,56
Pouring Task Dia 2	20	9,67	20,67	14,71	3,08

Tabela 4.1

Estatística Descritiva Pouring Task (Sedentários)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pouring Task Base Line	21	15,00	59,00	33,14	9,71
Pouring Task 2 Execução	21	13,00	66,00	27,14	10,78
Pouring Task Pós Treino	21	11,00	45,00	20,90	7,48
Pouring Task Dia 2	21	12,33	50,67	19,73	8,32

Tabela 4.2

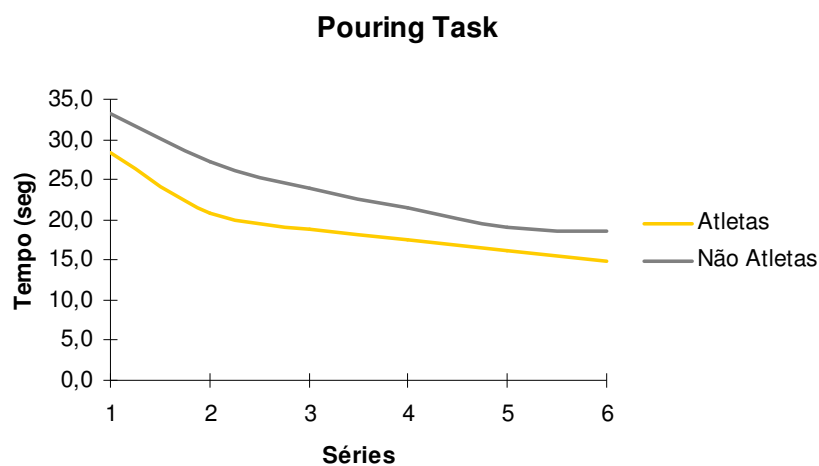


Gráfico XI – Evolução durante o processo de aprendizagem durante a Pouring Task

Esta tarefa de coordenação óculo-manual, demonstra uma curva de aprendizagem com diferenças significativas entre a primeira e a última execução (valores de $p < 0,05$ no teste t das tabelas 4.3 e 4.4). Pode também ser observado um grande declive entre a primeira e a segunda execução, em ambos os grupos, traduzindo uma grande adaptação ao gesto, logo a partir da segunda execução. Assim, existem diferenças significativas quando se compara a diferença da primeira para a segunda execução entre atletas e sedentários. Este facto revela uma adaptação à tarefa mais rápida e eficiente por parte do grupo dos atletas. Talvez uma maior capacidade para aprendizagem motora neste tipo de acções em atletas esteja na origem desta diferença.

Teste t Pouring Task (Atletas)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Pouring Task Base Line – Pouring Task 2 Execução	7,650	4,859	7,041	0,001
PouringTask Base Line – Pouring Task Pós Treino	12,217	6,698	8,157	0,001
Pouring Task Pós Treino – PouringTask Dia 2	1,472	1,968	3,345	0,003

Tabela 4.3

Teste t Pouring Task (Sedentários)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Pouring Task Base Line – Pouring Task 2 Execução	6,000	5,709	4,816	0,001
Pouring Task Base Line – Pouring Task Pós Treino	11,190	5,454	9,402	0,001
Pouring Task Pós Treino – PouringTask Dia 2	2,222	2,602	3,914	0,001

Tabela 4.4

Teste t Pouring Task (Atletas vs Sedentários)

	t	Df	Bidireccional p
Pouring Task Base Line	-1,647	38,877	0,108
Pouring Task 2 Execução	-2,239	35,132	0,032
Pouring Task Pós Treino	-3,172	28,345	0,004
Pouring Task Dia 2	-2,585	25,599	0,016

Tabela 4.5

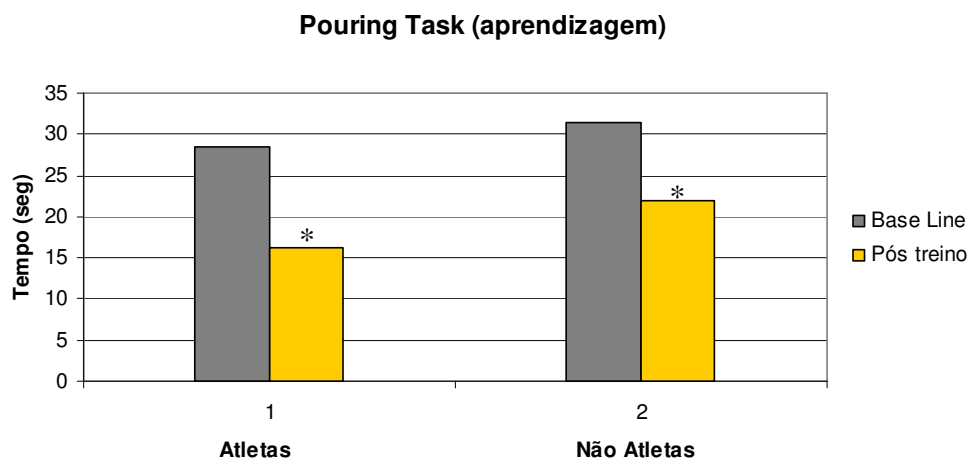


Gráfico XII – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem na Pouring Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

De acordo com a linha de aprendizagem apresentada no gráfico XI, ambos os grupos demonstram uma aprendizagem significativa entre a primeira e a última execução.

Não obstante esta aprendizagem em cada um dos grupos individualmente, os atletas apresentam melhores valores no final da aprendizagem, comparativamente com os indivíduos não atletas quando sujeitos ao mesmo processo de treino. Este facto revela também uma diferença significativa na capacidade para aprender a tarefa, ou seja, os atletas conseguem aprender a tarefa mais eficientemente.

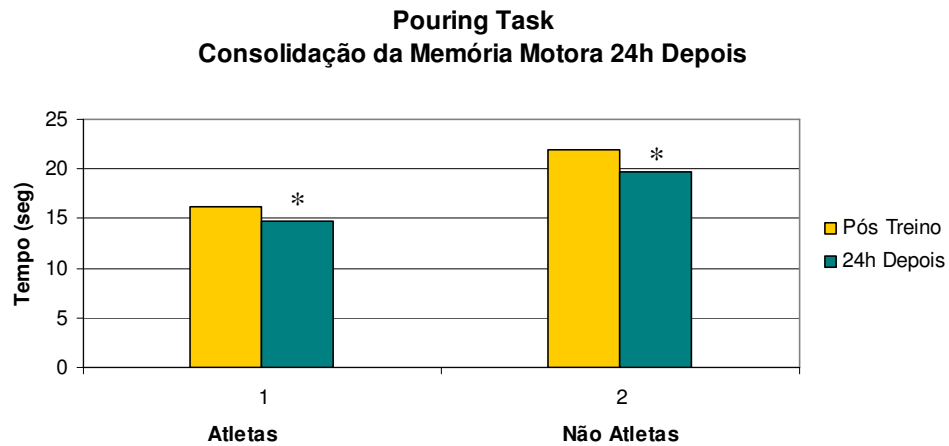


Gráfico XIII – Consolidação da memória motora 24h após o processo de aprendizagem na Pouring Task em ambos os grupos

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

A consolidação da memória motora 24 horas depois da aprendizagem da tarefa, revela diferenças significativas em ambos os grupos, quando comparada com os valores Pós Treino e mesmo uma variação entre atletas e sedentários. Mais uma vez, tal como no Digital Tapping Test os atletas demonstraram maior capacidade para consolidar a memória motora sem treino adicional, como pode ser comprovado pelos valores de $p=0,016$ no teste t.

5. Equilíbrio

Estatística Descritiva Equilíbrio (Atletas)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Equilíbrio Base Line	20	6	23	15,20	4,87
Equilíbrio Pós Treino	20	1	13	6,65	3,79
Equilíbrio Dia 2	20	1	12	7,67	3,16

Tabela 5.1

Estatística Descritiva Equilíbrio (Sedentários)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Equilíbrio Base Line	21	10	23	15,90	3,33
Equilíbrio Pós Treino	21	0	19	9,24	5,83
Equilíbrio Dia 2	21	1	19	9,52	4,32

Tabela 5.2

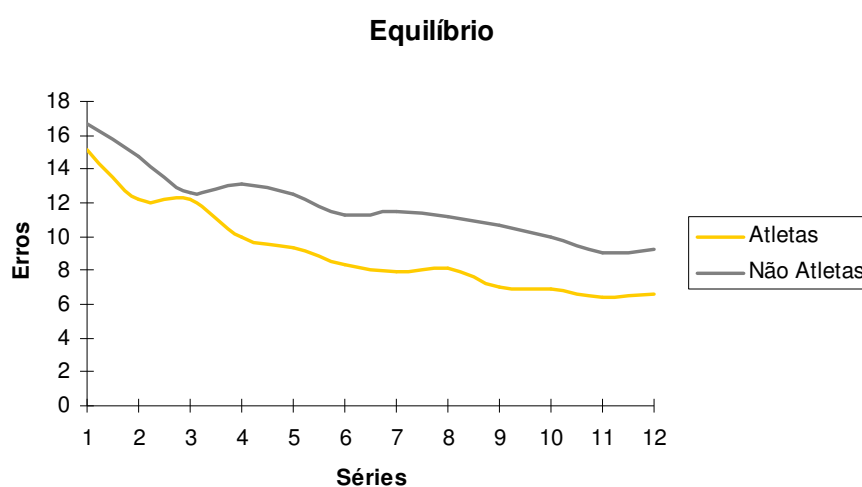


Gráfico XIV – Evolução do processo de aprendizagem durante o teste do equilíbrio

Com a redução do número de erros, o teste do equilíbrio tal como os anteriores apresenta dados que demonstram claramente uma aprendizagem ao longo das execuções da tarefa. Essa melhoria verifica-se em atletas e em sedentários. O número de erros consegue mesmo ser reduzido para aproximadamente metade no final do processo de

aprendizagem. Verifica-se também uma tendência para os atletas apresentarem melhores resultados que os indivíduos sedentários, mas que não é significativa.

Teste t Equilíbrio (Atletas)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional p
Equilíbrio Base Line – Equilíbrio Pós Treino	8,451	4,949	7,637	0,001
Equilíbrio Pós Treino – Equilíbrio Dia2	-0,923	2,572	-1,604	0,125

Tabela 5.3

Teste t Equilíbrio (Sedentários)

	Média	Desvio Padrão	t	Bidireccional P
Equilíbrio Base Line – Equilíbrio Pós Treino	6,476	6,532	4,544	0,001
Equilíbrio Pós Treino – Equilíbrio Dia 2	-0,095	2,791	-0,156	0,877

Tabela 5.4

Teste t Equilíbrio (Atletas vs Sedentários)

	T	df	Bidireccional p
Equilíbrio Base Line	-0,538	33,386	0,594
Equilíbrio Pós Treino	-1,720	36,529	0,094
Equilíbrio Dia 2	-1,572	36,609	0,125

Tabela 5.5

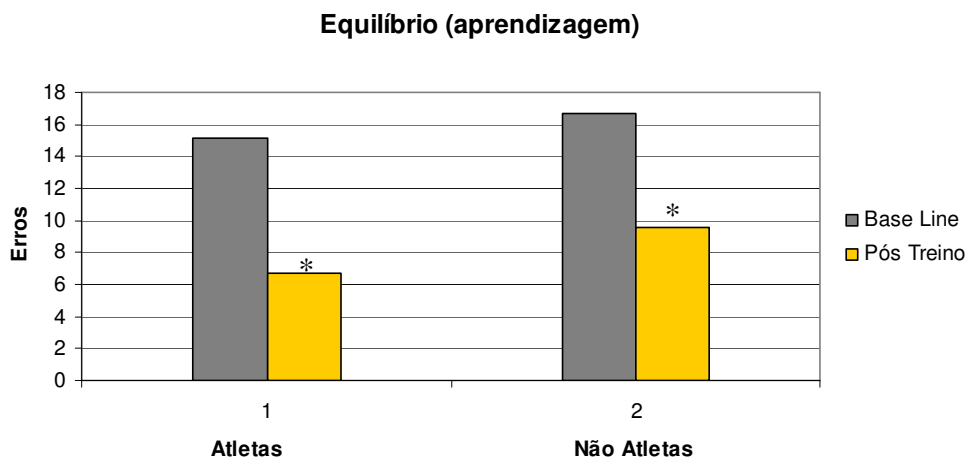


Gráfico XV – Diferenças entre o início e o final do processo de aprendizagem em ambos os grupos no teste do equilíbrio

(*) Diferenças significativas para $p < 0,05$

Neste gráfico é possível visualizar as diferenças entre a primeira e a última execução nos dois grupos. Mais uma vez é notória a aprendizagem efectuada com as doze execuções da tarefa.

Os valores entre a primeira e a última execução são significativamente diferentes no grupo dos atletas e no grupo dos indivíduos sedentários. O que significa que qualquer um dos dois grupos sofre uma aprendizagem ao longo desta tarefa. No entanto, a melhoria na aprendizagem do equilíbrio não é diferente se compararmos atletas com sedentários.

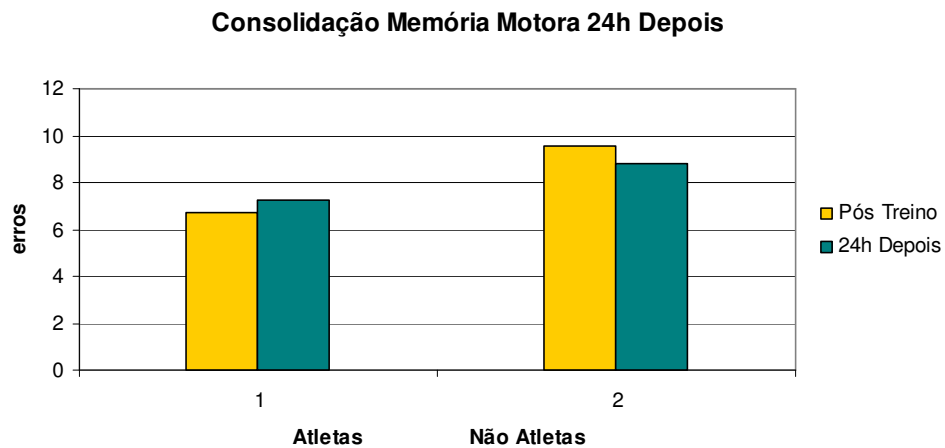


Gráfico XVI – Consolidação da memória motora 24 horas após o processo de aprendizagem no teste do equilíbrio em ambos os grupos

Além dos valores encontrados nos gráficos anteriores, a tarefa de equilíbrio não demonstra um aumento da performance 24 horas depois da realização da mesma, ou seja, o processo de consolidação motora, que foi verificado em outras tarefas tais como a Digital Tapping Task e a Pouring Task, não está presente no equilíbrio medido no dia seguinte. Este facto será discutido adiante, mas poderá envolver processos de construção motora cerebral ou cerebelar diferentes, ou a própria consolidação envolver outras estruturas e/ou processos.

6. DISCUSSÃO

A actividade física regular pode potenciar a aprendizagem de novos gestos motores. Será que um doente que esteja em recuperação motora de um Acidente Vascular Cerebral (AVC) pode ter maior capacidade para recuperar se tiver praticado actividade física regular ao longo da vida? Deixamos aqui uma discussão aberta para um melhor desenvolvimento de mais estudos que foquem a importância deste tema, não só na melhoria da performance em atletas e a estruturação dos seus treinos como, na importância da actividade física regular para uma vida mais saudável e de prevenção de patologias através do aumento da longevidade pela actividade física (Eggermont *et al.*, 2005; Brisswalter *et al.*, 2002; Scherder *et al.*, 2005)

Aprendizagem Motora das Tarefas

Um dos grandes objectivos deste estudo foi verificar se existiam diferenças na capacidade de consolidar a memória motora entre atletas e sedentários. Para isso utilizou-se uma amostra de indivíduos atletas e indivíduos sedentários, que desenvolveram um protocolo de testes nas mesmas circunstâncias. O protocolo, tal como já foi explicado na metodologia é constituído por cinco testes diferentes e pretende verificar a capacidade de consolidar a memória motora em várias vertentes da aprendizagem motora. Assim, através dos testes realizados comparámos as duas populações em sequências motoras, tempo de reacção, coordenação óculo manual e equilíbrio. Alguns dos testes envolviam um instrumento que, do seu manuseamento dependia o sucesso da tarefa, como é o caso do teste do Circuito Eléctrico, Pouring Task e Equilíbrio. Nestas tarefas o indivíduo tem que exercer um controlo motor não só sobre o próprio corpo, mas também sobre o instrumento que funciona como um prolongamento das acções corporais. Nas outras duas tarefas, Digital Tapping Task e Reaction Time Task, ou sejam, sequências motoras e tempo de reacção, a resposta dos indivíduos encontra-se condicionada simplesmente pela resposta motora do próprio corpo.

Como seria de esperar durante o processo de treino destas tarefas os indivíduos demonstraram sempre uma aprendizagem das mesmas, em que a sua performance foi

melhorando à medida que executam mais repetições. Esta é já uma certeza que nos parece fácil de constatar em qualquer acção quotidiana e o mesmo acontece se nos referirmos a gestos desportivos ou simplesmente a tarefas de recuperação motora. Em qualquer indivíduo que tenha ou não a performance afectada por lesões cerebrais, revelam melhores performances com o aumento das repetições, seja para desenvolver um gesto gímico complexo, ou simplesmente para caminhar ou apanhar um objecto. De acordo com Pohl *et al.* (2006) os indivíduos preservam a capacidade de memória motora implícita, que pode ser uma excelente ferramenta no auxílio e recuperação motora após acidente vascular cerebral. Complementando esta informação com os dados aqui obtidos, teremos a capacidade para melhorar esses programas de reabilitação com base na avaliação de consolidação da memória motora e na individualização do treino a partir desses dados.

Esta individualização é visível logo existem indivíduos que mais facilmente aprendem um determinado gesto motor que outros ou que atingem resultados desportivos tão surpreendentes e outros não. Se é um facto que isto acontece e se existe essa variabilidade entre nós, podemos supor que existem factores que, além da genética, quando são intensificados produzem alterações cerebrais capazes de potenciar a nossa capacidade para aprender gestos motores.

A investigação que aqui se apresentou não pretende de maneira nenhuma fechar respostas neste domínio, mas pelo contrário criar mais pontos de apoio para as questões que agora se levantam e que combinam o conhecimento acerca do cérebro e a sua relação com o comportamento motor. Dentro dos factores que poderão produzir alterações cerebrais, a nível de plasticidade como a intensificação da prática desportiva e nomeadamente de tarefas em aprendizagem motora, encontramos uma consonância com as investigações desenvolvidas em aprendizagem nas últimas décadas (à medida que intensificamos uma aprendizagem esta pode criar fenómenos de plasticidade sináptica e promover uma consolidação mais efectiva da tarefa (Kandel, 2000).

No entanto, não podemos generalizar a automatização de todos os gestos motores como têm feito alguns autores (Fisher, 2005; Baraduc, 2004; Walker *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2004), porque tal como vimos no protocolo aqui aplicado existem resultados diferentes ao nível da consolidação da memória motora se efectuarmos diferentes tarefas.

Nos testes realizados a aprendizagem da tarefa motora foi uma constante, quer em atletas, quer em sedentários, o que se encontra de acordo com a grande maioria dos estudos mais recentes e mesmo os mais antigos como refere Krakauer and Shadmehr

(2006). A constatação de que existe aprendizagem de um gesto motor à medida que se aumenta o número de repetições não é um dado recente (Fitts, 1967; Adams, 1971). No entanto, as últimas investigações em aprendizagem motora revelam alterações ao nível da consolidação da memória motora (Krakauer and Shadmehr, 2006) e consequentemente nos processos que aí se encontram envolvidos, também de acordo com os nossos dados.

Os mecanismos envolvidos na consolidação da memória motora, podem fazer variar os tempos deste processo e consequentemente condicionar a aprendizagem de tarefas.

Por isso, existe muita divergência relativamente ao tempo de consolidação da memória motora, quando Fisher (2005) Baraduc (2004) e Walker *et al.* (2003) apresentam dados de poucas horas após a tarefa para este processo e Krakauer and Shadmehr (2006) propõe consolidações na memória motora de longo termo a partir das 24 horas depois de terminada a tarefa. Também Caithness *et al.* (2004), afirma que uma segunda tarefa sensório-motora influencia sempre uma primeira quando efectuada 24 horas depois ou mesmo efectuada com uma semana de intervalo defendendo a ideia que as memórias sensório-motoras, podem oscilar entre estados activos e inactivos em vez de estados de perfeita consolidação.

Apesar de, na nossa investigação não podermos definir tempos exactos para a consolidação da memória motora, ou verificarmos a interferência que uma segunda tarefa possa ter na primeira, conseguimos a certeza de que em 3 de 5 tarefas testadas se verificou um aumento de performance 24 horas após o processo de aprendizagem sem treino adicional. As únicas tarefas em que não se encontraram melhoria da performance da tarefa medida 24 horas após o treino foram, o teste do circuito eléctrico e do equilíbrio.

Nas investigações apresentadas anteriormente, não faz sentido ter-se desenvolvido uma generalização da consolidação da memória motora, seja para 6 horas, 24 horas ou para a interferência de uma segunda tarefa, quando os protocolos só envolviam uma tarefa.

A consolidação da memória motora é um processo que nos leva a uma automatização dos gestos motores mas, tal como foi visto nos nossos resultados, não podemos ainda generalizar os seus processos ou *timings*. Devem ser desenvolvidas mais investigações no sentido de se complementar a compreensão da consolidação em diversas tarefas motoras, com diferentes tempos e com interferência ou não de uma segunda tarefa. Neste sentido, complementar-se-ão os resultados aqui obtidos para que possamos

interpretar de uma maneira mais sólida os processos de consolidação da memória motora. Devem também ser desenvolvidos mais estudos com diferentes populações, visto que foram encontradas diferenças entre atletas e sedentários, o que ajudará a compreender quais as variáveis passíveis de provocarem alterações em todo o processo e de que maneira o nosso cérebro sofre modificações com a actuação dessas variáveis como o exercício físico.

O facto de só terem sido encontradas diferenças em alguns dos testes entre atletas e sedentários será discutido adiante mas poderá estar associado ao facto de ser consolidado por estruturas diferentes, ou a consolidação ocorrer com *timings* diferentes. Os dados obtidos neste estudo, não são suficientes para dividir as memórias motoras e a sua consolidação em curto ou longo termo.

Assim a sistematização da utilização de protocolos com tarefas únicas, ou mesmo com as tarefas idênticas limitam-nos em muito a generalização das funções cerebrais ao nível da memória motora e a procura de um modelo global de consolidação da memória motora a nível cerebral.

Sequências Motoras (Digital Tapping Task)

Tal como já foi encontrado por alguns investigadores (Wu *et al.*, 2004), quanto mais complexa for a tarefa que se tenta automatizar maior será a activação cerebral, nomeadamente nas áreas do córtex parietal, pré-motor e cerebelo e segundo estes autores, a sequência digital de números possui uma activação significativa do cérebro e é um excelente protocolo para o estudo da automatização de movimentos. Como vimos nos nossos resultados, existem indivíduos que, por terem sido submetidos a um processo de treino de longa duração, conseguem mais facilmente automatizar estas sequências motoras, como é o caso dos atletas. Nestes indivíduos, em que o treino incidiu sobre gestos motores diferentes, mas com prevalência da necessidade de representação e/ou construção de um modelo interno de sequências motoras, podemos depreender que, tal como afirmou Shadmehr and Holcomb(1997), a representação interna destas sequências, tornam a sua execução ou evocação menos frágil no que diz respeito às interferências a que ainda possam estar sujeitas.

No teste das sequências motoras em que os indivíduos aprendiam uma sequência digital de números, obtiveram-se resultados que mostram claramente uma diferença significativa entre os valores obtidos após a aprendizagem (Pós Treino) e os resultados

obtidos 24 horas depois dessa mesma aprendizagem em ambos os grupos. Desta forma, e em consonância com vários estudos (Walker *et al.* (2002); Della-Maggiore (2005); Walker *et al.* (2005); Vertes (2004)) os indivíduos apresentam uma melhoria da performance 24 horas depois da aprendizagem e sem treino adicional. Quer os atletas quer os sedentários, atravessam um período de consolidação da memória motora após o treino, onde o cérebro e as outras estruturas envolvidas no processo de aprendizagem motora, como o cerebelo e os gânglios da base, criam programas motores de maneira a automatizar ainda mais o gesto sequencial já aprendido. Estes dados permitem-nos olhar para os programas de treino e aprendizagem motora, de maneira a avaliar a performance alcançada algum tempo mais tarde, tal como indicado por Krakauer and Shadmehr (2006) e não imediatamente no final dos treinos. Isto significa que muitas vezes durante um treino leva-se a uma exigência suplementar do atleta, quando a performance motora do mesmo, consolidada algum tempo depois, tem valores mais elevados. Este excesso de treino poderá levar a uma interferência na construção das sequências motoras cerebrais e comprometer o processo de aprendizagem, além de provocar e estar associado a uma fadiga desnecessária.

As sequências motoras são gestos que após automatizados conseguem ser desenvolvidos sem recurso à visão, tal como foi comprovado por Passingham *et al.* (2002), num estudo que demonstrou que as células do córtex motor ficam activas igualmente quando existe evocação de uma sequência motora aprendida anteriormente, quer seja com utilização da visão ou não. O sucesso deste tipo de tarefas motoras sem recurso à visão é possível devido à consolidação das memórias motoras que permitem a sua evocação e a consequente realização dos respectivos gestos motores dessa memória através das contracções musculares e posicionamento corporal exacto na tarefa.

Nos últimos anos surgiram alguns dados que, segundo vários autores (Fischer *et al.* (2005); Stickgold (2005); Della-Maggiore (2005); Backhaus and Junghanns (2006); Walker *et al.* (2002)), apontam para uma dependência do sono no processo de consolidação das memórias motoras. Estes resultados indicam uma melhoria de performance em tarefas motoras de sequências digitais, tal como foi encontrado no nosso estudo. No entanto, segundo Cohen *et al.* (2005) uma tarefa motora continua o processo de consolidação após terminado o treino, mas este período de aprendizagem off-line divide-se em duas etapas. Desta forma, o autor afirma que apenas a sequência de movimentos é consolidada durante o dia e o objectivo da tarefa é que sofre uma

consolidação durante a noite que em conjunto vão permitir um aumento da performance no dia seguinte.

Os dados obtidos no nosso estudo estão de acordo com as afirmações destes autores no sentido de existir um processo de consolidação da memória motora após o treino da tarefa, mas não nos permitem afirmar se esse processo está ou não dependente do sono, ou se está dividido em uma ou várias fases. Porém, podemos afirmar que o processo de consolidação da memória motora não é idêntico em todas as tarefas motoras, na medida em que os testes de equilíbrio e circuito eléctrico não obtiveram resultados diferentes quando medidos 24 horas após o treino, quer em atletas, quer em sedentários. Quer isto dizer que a generalização dos processos de consolidação de memória motora deve ser feita com cautela e ainda não existem estudos suficientes que permitam estabelecer modelos exactos de consolidação da memória motora.

Para corroborar os dados que focam uma extrema importância do sono no processo de consolidação motora, Vertes (2004) apresentou um estudo de revisão onde aponta argumentos refutando a hipótese de que as memórias de procedimentos ou declarativas são consolidadas durante o sono. Apesar desta perspectiva, o autor concorda com a existência de um processo de consolidação após o treino da tarefa, colocando apenas em causa o papel do sono nesse processo.

Tal como todos estes autores, confirmámos nos nossos dados esta consolidação nas tarefas motoras sequenciais, no tempo de reacção e na pouring task. Esta última tarefa, que apesar de envolver processos cerebrais de associação entre visão e propriocepção, é uma tarefa que possui uma vertente sequencial, quando ao encher os tubos em linha o cérebro pode evocar uma memória motora da relação de distancia entre esses mesmos tubos, levando a um processamento motor que combina sequência com coordenação óculo-manual.

Tempo de Reacção (Reaction Time Test)

Tal como foi observado nos nossos resultados, o estímulo para provocar a resposta no teste do tempo de reacção tinha tempos de aparecimento aleatórios, e desta forma a aprendizagem verificada pode ter interferência no processo motor da própria tarefa, na preparação cerebral da mesma, ou na resposta de identificação o estímulo.

De acordo com Begeman *et al.*, (2007) o tempo de reacção pode ser afectado quando se executa uma tarefa com a mão contra lateral à mesma, justificando tal acontecimento

pelos efeitos na preparação motora cerebral. De acordo com estes dados os indivíduos, podem ter desenvolvido ao longo do processo de aprendizagem uma pré-activação do córtex motor que lhes permitiu a construção de uma resposta mais rápida a nível do tempo de reacção. O contrário acontece quando uma memória motora é consolidada e se verifica uma diminuição no fluxo cerebral dessa zona (Olson, et. al. (2006)). Neste caso em que possivelmente não existe consolidação do gesto motor, uma pré-activação resultante da preparação cognitiva para a resposta motora pode levar a uma diminuição no tempo de reacção da resposta.

Tal como nos dados obtidos por Joiner and Shelhamer (2006) os nossos indivíduos podem desenvolver uma resposta mais rápida quando aguardam pelo estímulo, principalmente se este tiver um intervalo de tempo muito curto e partindo do pressuposto que a resposta motora de reacção e predição são desenvolvidas numa via descendente semelhante. Esta melhoria através da activação pode ser explicada pelo facto dos indivíduos já saberem qual a resposta motora a executar e existir uma pré-activação dos neurónios responsáveis por essa resposta. No entanto, os resultados encontrados 24 horas depois do processo de aprendizagem, indicam uma consolidação da mesma, e uma consequente melhoria da performance. Assim é fundamental compreender até que ponto a realização de outra tarefa pode interferir com este processo de consolidação tal como interfere com a aprendizagem propriamente dita. Apesar destes dados existem estudos que demonstraram uma influência negativa da privação do sono na tarefa de tempo de reacção (Philip *et al.*, 2004). No entanto, este facto deve prender-se essencialmente com a diminuição na receptividade do estímulo pelos órgãos sensoriais.

Tal como nos nossos resultados, onde não foram encontradas diferenças significativas entre atletas e não atletas, Collardeau *et al.* (2001) não encontram melhorias no tempo de reacção em atletas de atletismo, mas constataram melhorias durante a realização do exercício, justificando tal facto com o estado de activação dos indivíduos. Por outro lado, Lemmink e Visscher (2005) verificaram que o tempo de reacção não era afectado pelos efeitos agudos do exercício em atletas de futebol. Em nenhum dos casos foram vistos os efeitos ao longo prazo do exercício físico no tempo de reacção, como nós verificámos na nossa investigação.

Foram também encontradas diferenças no tempo de reacção medido 24 horas após o treino entre indivíduos de sexo masculino e indivíduos do sexo feminino, com uma diminuição do tempo de reacção nos homens. Os homens apresentaram um tempo de

reação 10% mais rápido, e com o qual encontramos alguns paralelismos ou dados tendencialmente semelhantes na bibliografia. De acordo com alguns autores, o tempo de reação nas mulheres é significativamente maior que nos homens (Dane e Erzurumlugoglu, 2003; Der e Deary, 2006) e além disso esta desvantagem não é reduzida com a prática. Apesar de no nosso estudo possuímos uma amostra muito limitada (41 sujeitos), o estudo de Der e Deary (2006) foi desenvolvido com 7400 sujeitos.

O desenvolvimento cerebral do homem e da mulher é efectuado numa perspectiva idêntica e não estão documentadas diferenças significativas a nível da aprendizagem motora entre ambos os sexos. Além disso, esta foi a única diferença verificada entre sexos em todas as medições efectuadas, podendo ser uma variação decorrente de factores não controlados no estudo. No entanto, apesar das mulheres apresentarem um tempo de reação maior, a sua precisão aumenta quando comparadas com o sexo oposto (Barral e Debu, 2004).

Coordenação Visuo-Motora (Circuito Eléctrico e Pouring Task)

Nas tarefas do Circuito Eléctrico e a Pouring Task, os indivíduos necessitam de uma coordenação entre os gestos motores e uma resposta sensorial constante, em primeira instância a partir da visão que envia informações da posição do corpo relativamente aos objectos envolvidos na tarefa e depois da propriocepção que complementa as informações para essa coordenação.

Estas tarefas diferem das restantes pelo facto de nunca se conseguir realizar o gesto motor que conduz ao sucesso na performance sem utilização da visão. Aqui a visão não serve simplesmente para posicionar o corpo relativamente ao espaço, mas fundamentalmente para posicioná-lo relativamente ao objecto da tarefa. Em conjunto, estas informações sensoriais são interpretadas e associadas pelo cérebro e conjugadas numa resposta cortical única, que também depende dos gânglios da base e do cerebelo. Apesar de, aparentemente a interpretação da informação e a construção da resposta a nível cerebral, que mais tarde levará à consolidação da aprendizagem com várias execuções, parecer semelhante entre estas duas tarefas, foram encontrados resultados diferentes.

É certo que em ambas se verificou uma aprendizagem da tarefa à medida que aumentam as repetições, no entanto, a consolidação da memória motora não foi idêntica. Isto

significa que o processo que decorreu no cérebro e no cerebelo, bem como nas outras estruturas responsáveis pela consolidação da aprendizagem não é a mesma segundo vários autores (Kandel (2000); Purves *et al.* (2004); Guyton *et al.* (1997); Kassardjian *et al.* (2005); Shutoh *et al.* (2006)), ou pode ter acontecido com uma diferença temporal, motivada pelas transições no processo de consolidação da memória motora, tal como referem Shutoh *et al.* (2006) e Kassardjian *et al.* (2005). Apesar desta hipótese, não é possível com os nossos resultados apresentarmos uma conclusão relativamente aquilo que aconteceu após o processo de aprendizagem na tarefa do circuito eléctrico e na tarefa do Pouring Task. Podemos sim afirmar ter existido uma consolidação na Pouring Task que levou a um aumento de performance quando a tarefa foi medida 24 horas após a aprendizagem e pelo contrário no Circuito Eléctrico, medida 24 horas após a aprendizagem permaneceu com resultados semelhantes ao Pós Treino. As diferenças podem assentar no facto do Circuito Eléctrico ser uma tarefa que envolve movimentos mais finos, mais complexos e mais prolongada, requerendo por isso uma solicitação cerebral e cerebelosa muito elevada, bem como uma análise dos erros pelos gânglios da base muito mais minuciosa, quando comparada com a Pouring Task onde o gesto de coordenação com o aparelho era em sequência linear.

Mais uma vez as alterações no sistema nervoso central para analisar a tarefa e processar uma resposta, podem ter sido uma das razões para se terem encontrado diferenças nos resultados obtidos entre atletas e sedentários nas medições 24 horas após o treino.

Os atletas possuem sem dúvida uma capacidade superior de consolidação da memória motora neste tipo de tarefas que os leva a resultados superiores de performance motora na aprendizagem de novos gestos. A grande maioria dos estudos desenvolvidos nesta área utilizam apenas uma tarefa e não recorrem à comparação entre duas populações como atletas e não atletas no nosso caso. Desta forma é algo complicado relacionarmos os nossos dados com investigações prévias, fazendo apenas uma análise à luz dos conhecimentos actuais sobre o funcionamento das estruturas do cérebro, cerebelo e gânglios da base, envolvidos nos processos de consolidação da memória motora.

Outra das situações que não foi testada nesta investigação e que é sugerida para ajudar a compreender melhor todo este processo, são os dados de Mazzoni and Krakauer (2006), onde uma estratégia explícita não substitui a adaptação implícita efectuada pelo sistema visuo-motor, nas aprendizagens motoras a este nível, que mantém uma relação no espaço. De acordo com estes dados podemos sugerir a aplicação dos testes aqui desenvolvidos mas, com modificações da relação entre, informação recebida pela visão,

alterando os padrões motores previamente construídos, para compreendermos onde existem as diferenças na consolidação destes processos neuronais.

Durante um protocolo experimental para avaliar a aprendizagem visuo-motora, Hadj-Bouziane *et al.* (2006) concluiu que na tarefa visuo-motora de relacionar imagens num ecrã com um determinado movimento, os indivíduos utilizaram uma estratégia sequencial para a aprendizagem. Este facto pode-nos sugerir, não só a utilização de sequências mentais, motoras ou cognitivas, para sucesso em determinada aprendizagem, como pode também este ser um factor de facilitação no processo de aprendizagem motora. Desta forma, explicaríamos o facto de os testes realizados com sequências motoras serem mais facilmente consolidados e entre os dois testes de coordenação visuo-motora, não existir possibilidade de se criarem estruturas sequências internas no teste do circuito eléctrico.

Partimos do pressuposto que não existe interferência da consolidação da memória motora entre as diferentes tarefas e que estas podem solicitar estruturas ou processos diferentes, de maneira a termos modelos de consolidação diferentes. Apoiando esta teoria obtivemos o resultado da tarefa em sequências motoras (Digital Tapping Task) que demonstrou o maior aumento em performance medida 24 horas após a aprendizagem e sem treino adicional e foi a primeira tarefa a ser efectuada pelos sujeitos. Tal como esperado, e contrariado alguns estudos que generalizam a consolidação da memória motora para qualquer tarefa, a interferência das tarefas seguintes não impossibilitou a consolidação da memória motora 24 horas após a aprendizagem. Esta premissa contraria as afirmações de Conditt *et al.* (1997) onde admitiu que a aprendizagem motora das tarefas pode ser generalizada para novos gestos motores que se adaptam através da aquisição de um modelo interno do movimento dinâmico. No entanto, não podemos também suportar por inteiro a teoria de Tong and Flanagan (2003) quando apresenta resultados distintos a Conditt *et al.* (1997) no que diz respeito a esta matéria, na medida em que concluiu que não existe transferência na aprendizagem em tarefas de aproximação nos indivíduos que efectuem a tarefa com forças contrárias. Por isso é fundamental ressaltar que estes dois estudos tiveram paradigmas experimentais diferentes, do nosso e entre si, e que pode ser essa uma das causas para os resultados diferentes. Com os resultados obtidos na nossa investigação tentamos complementar os dados já existentes de maneira a entender melhor todo este

sistema e compreender como é processada a consolidação da memória motora, que estruturas estão envolvidas e que variáveis, como a prática de actividade física regular, podem interferir em todo o processo.

Se entendermos como funciona a relação dos novos gestos motores adquiridos em função da construção de um modelo interno de movimento será mais fácil rentabilizar essa aprendizagem.

Equilíbrio (Teste do Equilíbrio)

Aquilo que se sabe relativamente ao equilíbrio, envolve um grande papel do cerebelo na sua actuação além de uma importância extrema desta estrutura no sucesso de outras tarefas motoras que também recorrem ao equilíbrio para a sua performance (Purves *et al.* (2004); Guyton *et al.* (1997); Kandel *et al.* (2000)). O cerebelo é uma das estruturas mais importantes no sucesso da aprendizagem motora e para confirmar essa teoria temos tido nos últimos anos algumas investigações que indicam um papel activo desta estrutura durante o processo de consolidação de memórias motoras (Krakauer and Shadmehr (2006); Shutoh *et al.* (2006); Thach (1998)).

De acordo com os nossos resultados no teste do equilíbrio podemos verificar uma grande melhoria da performance ao longo do processo de aprendizagem, ou seja, ao longo das doze execuções de treino, concordando assim com a importância do cerebelo no processo de equilíbrio e aprendizagem motora referido pela bibliografia existente. No entanto, e face a esta importância seria de esperar que, tal como nos outros testes, tivéssemos uma melhoria da performance 24 horas após o treino e sem treino adicional, devido à consolidação da memória motora estar dependente do cerebelo e deste ser de grande importância nesta tarefa específica. Além disso, como já foi referido, tem sido encontrado uma dependência muito grande no cerebelo relativamente ao processo de consolidação da memória motora.

Quanto aos dados aqui encontrados podemos supor que, essa consolidação ocorre durante a aprendizagem da tarefa e desta forma em tempos mais reduzidos que as restantes tarefas. Poderá ser por estar mais intimamente ligada à actuação do próprio cerebelo, ou então por desenvolver associações internas entre córtex cerebral e o cerebelo que impedem o aumento da performance após o treino, ou esse aumento de performance só acontece durante o processo de treino.

De acordo com os dados obtidos neste estudo, não podemos solidificar a ideia de que o cerebelo cria processos de consolidação da memória motora nas tarefas de equilíbrio após o processo de aprendizagem e que estes aumentam a performance 24 horas depois do treino, tal como foi verificado nos restantes testes.

Com estes dados podemos, no entanto, levantar algumas hipóteses que podem servir de base para futuras pesquisas no sentido de se diferenciar a importância do cerebelo em diferentes processos de consolidação da memória motora e a sua actuação nesses processos ao longo do tempo, durante a aprendizagem e após esta.

Torna-se essencial verificar se os gestos motores que envolvem o equilíbrio possuem tempos de consolidação muito curtos e se estes tempos se encontram inseridos exclusivamente durante o processo de aprendizagem. Se assim for, não há consolidação após a aprendizagem da tarefa, mas pelos estudos existentes o cerebelo é fundamental em qualquer processo de aprendizagem motora e está mesmo sujeito a situações de plasticidade sináptica, para a consolidação dessa aprendizagem.

De acordo com Kleim *et al.* , (1998) o cerebelo, encontra-se também envolvido nos processos de aprendizagem motora, na medida em que pode inclusive estar sujeito a fenómenos de plasticidade sináptica nas células de Purkinje, quando submetido a grandes performances motoras, comparativamente a um cerebelo com uma actividade motora mais reduzida.

O facto de não se verificarem diferenças entre atletas e sedentários em nenhuma das medições efectuadas no teste do equilíbrio, pode ser justificado devido à especificidade dos exercícios praticados na ginástica acrobática e trampolins requererem mais gestos com equilíbrio dinâmico e não com equilíbrio estático como foi testado neste protocolo. A inclusão de um protocolo com equilíbrio dinâmico pode futuramente desfazer esta dúvida e clarificar um pouco mais a actuação do equilíbrio e dos seus componentes neuronais, quer no processo de consolidação da tarefa, quer na diferenciação entre atletas e sedentários. Além disto pode também ser levantada a hipótese de que as tarefas motoras envolvendo directamente o cerebelo não são passíveis de serem influenciadas pela grande solicitação prévia de tarefas semelhantes, ou seja, atletas com maior capacidade para aprender novas tarefas de equilíbrio.

Todas estas hipóteses são dúvidas que se levantaram com os nossos resultados e que devem ser esclarecidas alterando os protocolos em investigações seguintes. Em investigações futuras deve também ser avaliado o tempo de retenção desta

aprendizagem, ou seja, verificar até que ponto a performance da aprendizagem da tarefa se mantém estável além das 24 horas.

Apesar de não se verificar um aumento de performance após o treino e não existirem diferenças entre atletas e sedentários no teste do equilíbrio, foi possível constatar que os resultados de dois dos indivíduos sedentários apresentaram melhores performances do que qualquer atleta. Estes dois indivíduos sedentários conseguiram em três das doze tentativas de aprendizagem efectuar o teste com zero erros. Esta performance de zero erros não foi conseguida por nenhum atleta em nenhuma tentativa. Estes valores podem ter contribuído para reduzir as diferenças entre atletas e não atletas e ser um indicativo de que pode ser possível identificar não atletas que tenham capacidade para uma melhor aprendizagem motora, ou seja, identificar a capacidade para a consolidação de memórias motoras em determinado indivíduo. A identificação ou avaliação da capacidade para determinada aprendizagem motora pode ser uma mais-valia na reestruturação de estratégias adaptadas individualmente, quer em atletas, quer em indivíduos em fase de recuperação motora.

Consolidação da Memória Motora

Um dos pressupostos que aqui se defendem para o facto de os atletas conseguirem ter maior capacidade de consolidação da memória motora, passa por um aumento na plasticidade sináptica durante os longos processos de prática desportiva e consequentemente da estimulação das sinapses, de maneira a facilitar a aprendizagem através dessas novas ligações neuronais ou do reforço das já existentes. Esta plasticidade sináptica suporta essencialmente as diferenças encontradas entre atletas e sedentários nos testes de sequências motoras (Digital Tapping Task) e coordenação óculo – manual (Pouring Task), pelo facto dos primeiros indivíduos terem ao longo de vários anos sofrido uma estimulação constante, quase diária, das vias cerebrais e cerebelosas que conduzem às execuções motoras correctas e consequentemente às modificações nas transmissões sinápticas.

Verificámos que nem todas as tarefas possuem um processo de consolidação após o treino, e algumas das tarefas, tal como foi observado no circuito eléctrico e no teste do equilíbrio a consolidação pode terminar logo no final do processo de treino. Na maioria dos estudos desenvolvidos para confirmar a existência de consolidação da memória

motora após o treino teve-se como paradigma experimental a realização de tarefas de sequências digitais de números, mas mesmo após a consolidação, existem muitas memórias motoras que necessitam recorrer a outras estruturas como é o caso da visão para evoca-las e ter sucesso na performance.

Além destes dados, concluímos também que as tarefas motoras a que o indivíduo está sujeito ao longo da vida podem influenciar a capacidade de consolidação de algumas memórias motoras. Os indivíduos atletas apresentam uma capacidade superior de consolidação da memória motora nas tarefas de sequência digital de números e na pouring task, o que se pode explicar pelo facto de serem atletas de ginástica acrobática e trampolins e terem sido estimulados ao longo de vários anos a consolidar memórias motoras que envolviam sequências de movimentos. Como já foi referido anteriormente, o cérebro dos atletas, bem como o cerebelo, podem ter sofrido fenómenos de plasticidade sináptica, que quando associados a uma tarefa motora executada várias vezes promovem uma melhor transmissão dos sinais neuronais tal como foi observado por Kandel, (2000) nos estudos na aplisia. Esta melhoria na transmissão neuronal pode estar envolvida não só na construção da memória motora e consequente consolidação, como também na evocação dessa memória, ou seja, na sequência exacta de movimentos, com que realizamos determinada tarefa.

Os resultados obtidos, segundo esta hipótese estariam de acordo com vários autores, que encontraram fenómenos de plasticidade sináptica em processos de aprendizagem motora (Shadmehr and Holcomb (1997); Costa *et al.* (2004); Vaynman *et al.* (2004); Leocani and Comi (2006)).

Cada vez que um indivíduo treina uma determinada tarefa motora e esta fica consolidada, pode criar uma plasticidade sináptica que o leva a reduzir o fluxo sanguíneo nessa zona do cérebro (Olson, *et al.*, 2006), possivelmente pela maior condutividade sináptica entre os neurónios intervenientes na evocação dessa memória motora. Assim a eficiência na evocação de um determinado gesto é muito superior e as ligações neuronais activas para que esta seja transposta para movimentos musculares são muito menores. No desporto a optimização de um gesto a nível muscular é evidenciada pela menor contracção de músculos parasitas, ou seja, músculos que se contraem durante o gesto, mas que não contribuem efectivamente para o sucesso do mesmo. Quando processamos esse gesto motor a nível cerebral a contracção desses músculos parasitas fica condicionada à estabilização das ligações neuronais correctas e que levam directamente ao sucesso da tarefa motora. Tal como vimos a estabilização e

criação dessas ligações resulta da experiência e da aprendizagem motora através da repetição da tarefa motora.

No entanto, segundo alguns autores (Vaynman *et al.* (2004); Callaghan *et al.* (2007)) a realização de pequenas cargas de exercício físico são suficientes para elevar as quantidades de BDNF, um factor neurotrófico fundamental à plasticidade sináptica que promove uma melhoria na performance cognitiva, devido ao aumento da actividade física em ratos. Em qualquer um dos estudos destes autores, podemos encontrar apoio para os nossos dados.

A maioria dos estudos realizados em animais para controlar as variações no cerebelo ou no córtex cerebral (Anderson *et al.* (2006); Wang *et al.* (2006); Shutoh *et al.* (2006); Kassardjian *et al.* (2005)) permitem, após o desenvolvimento de tarefas motoras, uma análise mais pormenorizada de fenómenos de plasticidade e o controlo de um maior número de variáveis, mas por outro lado não podemos comparar a execução de movimentos físicos básicos como a marcha ou corrida realizados por animais com a complexidade das tarefas motoras realizadas por atletas de alta competição em ginástica e a solicitação motora dos centros nervosos superiores que estas envolvem, tal como foi dito por Kleim *et al.* (1998). Assim tal como fizemos nesta investigação, devem-se tentar encontrar indivíduos com performances e especializações elevadíssimas a nível motor para podermos efectuar um cruzamento de dados com estudos em animais que envolvam análises moleculares de alterações neuronais e dessa forma compreender realmente quais os processos de alteração no sistema nervoso central e em que medida estas acontecem. Esta compreensão permitirá uma avaliação e estruturação mais cuidada de todos os métodos e processos de treino de tarefas motoras, quer em atletas, quer em indivíduos em fase de recuperação motora. Na preparação destes protocolos de treino e/ou aprendizagem motora é fundamental termos em atenção a execução de tarefas motoras entre os treinos, para evitar a menor consolidação dos gestos aprendidos tal como encontrou Wright *et al.*, (2004).

Tal como foi realizado no nosso estudo, a utilização de atletas de alta competição como forma de criar um tecto superior de performance poder-nos à ajudar a desenvolver linhas de pesquisa no sentido de se encontrarem escalas de capacidade de aprendizagem motora. Com o nível de resultados em que se encontra a alta competição desportiva, os atletas de topo são de facto uma selecção genética onde podemos encontrar apenas os indivíduos com mais capacidades para atingir determinados resultados desportivos. Se considerarmos os desportos onde a consolidação das memórias motoras têm grande

importância, temos uma grande selecção de indivíduos com elevada capacidade de consolidação da aprendizagem motora. Desta forma, conseguimos também, minimizar a interferência da variabilidade genética.

7. CONCLUSÕES

- Ambos os grupos (Atletas e Sedentários) apresentam uma melhoria na performance 24 horas após a aprendizagem e sem treino adicional, com excepção dos testes do circuito eléctrico e equilíbrio.
- Pelo facto de recorrerem a estruturas neuronais diferentes para consolidar a memória motora, os resultados foram diferentes entre os 5 testes efectuados, quer dentro do mesmo grupo quer entre os dois grupos (Atletas vs Sedentários)
- A melhoria destes resultados, ou seja, a capacidade de consolidação da memória motora é mais significativa em atletas, nos testes que utilizam sequências motoras para o sucesso da tarefa (Digital Tapping Task e Pouring Task).
- Não se verificaram diferenças significativas entre atletas e sedentários no que diz respeito à aprendizagem e consolidação da memória motora em, tempo de reacção, coordenação visuo-motora e equilíbrio (Reaction Time Test, Circuito Eléctrico e Teste do Equilíbrio).
- Nas tarefas que envolvam sequências motoras os atletas possuem maior capacidade de consolidação da memória motora
- Após consolidação da memória motora, os homens apresentaram um tempo de reacção menor comparativamente com as mulheres, medido 24 horas após a aprendizagem e sem treino adicional.
- A actividade física a longo prazo pode ter benefícios na consolidação de memórias motoras e facilitar dessa forma a aprendizagem de novos gestos motores sequenciais.

8. BIBLIOGRAFIA

Abbott, R. D.; White, L. R.; Ross, G. W.; Masaki, K. H.; Curb, J. D.; & Petrovitch, H. (2004) "Walking and Dementia in physically capable elderly men" *The Journal of American Medical Association* 292: 1447-1453

Adams, J. A. (1971) "A Closed-loop theory of motor learning" *Journal of Motor Behavior* 3: 111-149

Anderson, Brenda J.; Eckburg, Paul B.; Relucio, Karen (2006) "Alterations in the thickness of motor cortical subregions after motor-skill learning and exercise" *Learning and Memory* 9: 1-9

Ando, S., N. Kida and S. Oda (2002) "Practice effects on reaction time for peripheral and central visual fields". *Perceptual and Motor Skills* 95(3): 747-752.

Ando, S, N. Kida and S Oda (2004) "Retention of practice effects on simple reaction time for peripheral and central visual fields". *Perceptual and Motor Skills* 98(3): 897-900

Baraduc, P. et al. (2004) "Consolidation of dynamic motor learning is not disrupted by rTMS of primary motor cortex" *Curr. Biol.* 14: 252-256

Barata, Themudo e Colaboradores (1997) "Atividade Física e Medicina Moderna" Europress

Barinaga, M., 1995 "Remapping the motor cortex". *Science* 268: 1696-1698.

Backhaus, Jutta; Junghanns, Klaus (2006) "Daytime naps improve procedural motor memory" *Sleep Medicine* 7: 508-512

Barral, J. and B. Debu (2004) "Aiming in adults: Sex and laterality effects" *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition* 9(3): 299-312

Begeman, Maaike; Kumru, Hatice; Leenders, Klaus; Valls-Sole, Josep (2007) “Unilateral reaction time task is delayed during contralateral movements” *Exp. Brain Res*

Bouwien C. N.; Smits-Engelsman; Sugdan, David; Duysens, Jacques (2006) “Developmental trends in speed accuracy trade-off in 6-10 years old children performing rapid reciprocal and discrete aiming movements” *Human Movement Science* 25: 37-49

Brisswalter, Jeanick; Collardeau, Maya and René, Arcelin (2002) “Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance” *Sports Med* 32 (9): 555-566

Broussard, Dianne M. and Kassardjian, Charles D. (2006) “Learning in a Simple Motor System” *Learning and Memory*; Cold Spring Harbor Laboratory Press, 11: 127-136

Burger, Joanna and Gochfeld Michael (2004) “Effects of lead and exercise on endurance and learning in young herring gulls” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57: 136-144

Butefisch, Cathrin M.; Khurana, Vikram; Kopylev, Leonid; Cohen, Leonard (2004) “Enhancing of a Motor Memory in the Primary Motor Cortex by Cortical Stimulation” *J. Neurophysiol.* 91: 2110-2116

Caldas, Alexandre Castro (2000) “A Herança de Franz Joseph Gall: O Cérebro ao Serviço do Comportamento Humano” pp. 128-140; McGraw-Hill

Callaghan, Rachel M.; Ohle, Robert; Kelly, Áine M. (2007) “The effects of forced exercise on hippocampal plasticity in the rat: A comparison of LTP, spatial and non-spatial learning” *Behavioral Brain Research* 176: 362-366

Celnik, Pablo Stefan, Katja Hummel, Friedhelm Duque, Julie Classen, Joseph and Cohen, Leonardo G. (2006) “Encoding a motor memory in the older adult by action observation” *Neuroimage* 29: 677-684

Cohen, Daniel A.; Pascual-Leone, Alvaro; Press, Daniel Z.; Robertson, Edwin M. (2005) "Off-Line learning of motor skill memory: A double dissociation of goal and movement" *PNAS* Vol. 102 nº 50 18237-18241

Collardeau, M., J. Brisswalter, and M. Audiffren (2001) "Effects of a prolonged run on simple reaction time of well-trained runners" *Perceptual and Motor Skills* 93(3): 679

Conditt, M. A.; Gandolfo F. and Mussa-Ivaldi F. A. (1997) "The motor systems does not learn the dynamics of the arm by rote memorization past experience" *J. Neurophysiol* 78: 987-999

Cooke, S. F. et al. (2004) "Temporal properties of cerebellar-dependent memory consolidation" *J. Neuroscience*. 24. 2934-2941

Costa, Rui M.; Cohen, Dana; Nicoletis, Miguel A. L. (2004) "Differential Cortical Plasticity during Fast and Slow Motor Skill Learning in Mice" *Current Biology*, Vol. 14, 1124-1134

Cothros, N.; Wong, J. D.; Gribble, P. L. "Are there distinct neural representations of object and limb dynamics?" *Exp Brain Res* 173: 689-697

Curcio, Giuseppe; Ferrara, Michele; Gennaro, Luigi De (2006) "Sleep loss, learning capacity and academic performance" *Sleep Medicine Reviews* 10, 323-337

Dane, S. and A. Erzurumluoglu (2003) "Sex and handedness differences in eye-hand visual reaction times in handball players". *International Journal of Neuroscience* 113(7): 923-929

Davidson, Paul R. and Wolpert, Daniel M. (2004) "Sacling down motor memories: de-adaptation after motor learning" *Neuroscience Letters* 370: 102-107

Davidson, Philip W.; Weiss, Bernard; Beck, Christopher; Cory-Slechta, Deborah; Orlando, Mark; Loiselle, David; Young, Edna Carter; Sloane-Reeves; Myers, Gary J. (2006) "Developmental and Validation of a Test Battery to Assess subtle

neurodevelopmental differences in children”; *Neurotoxicology* 582: 1-19 Article in press

Davranche, K., M. Audiffren, and A. Denjean (2006) “A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task” *Journal of Sports Sciences* 24(3): 323-330

Der, G., and I. J. Deary. (2006) “Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom health and lifestyle survey”. *Psychology and Aging* 21(1): 62-73

Della-Maggiore, Valeria (2005) “ Motor Memory Consolidation, Night and Day” *The Journal of Neuroscience*, 25 (40): 9067-9068

Desrosiers J. Hebert R., Bravo G., Rochette A. (1999) “ Age related changes in upper extremity performance of elderly people: a longitudinal study” *Exp. Gerontol.* 49: 179-189

Donchin, O.; Sawaki, L.; Madupu, G. Cohen, L. G. and Shadmehr, R. (2002) “Mechanisms influencing acquisition and recall of motor memories *J. Neurophysiol.* 88, 2114-2123

Dudai, Y. (2004) “The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram?” *Annu. Rev. Psychol.* 55, 51–86

Eggermont, Laura; Swaab, Dick; Luiten, Paul; Scherder, Erik (2005) “Exercise, cognition and Alzheimer’s disease: More is not necessarily better” *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* xx 1-14

Elbert T, Pantev C, Wienbruch C, Rockstroh B, Taub E (1995) “Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players” *Science* 270: 305–307.

Fischer, Stefan; Nitschke, Matthias F.; Melchert, Uwe H.; Erdmann, Christian; Born, Jan (2005) “ Motor Memory Consolidation in Sleep Shapes More Effective Neuronal Representations” *The Journal Of Neuroscience*, 25 (49): 11248-11255

Fitts, P. M. and Posner, M. I. (1967) “Human Performance” Belmont, C.A.: Brooks/Cole

Fontani, G., L. Lodi, A. Felici, S. Migliorini and F. Corradeschi (2006) “Attention in athletes of high and low experience engaged in different open skill sports” *Perceptual and Motor Skills* 102(3): 791-816

Fozard, J. L., Vercryssen M, Reynolds S. L., Hancock P. A. Quilter R. E. “ Age differences and changes in reaction time: the Baltimore Longitudinal Study of Aging” *J. Gerontol.* 49: 179-89

Fox, Paul W.; Hershberger, Scott L.; Bouchard, Thomas J. (1996) “Genetic and Environmental contributions to the acquisition of a motor skill” *Nature* 384: 356-358

Frackowiak, Richard; Friston, Karl; Frith, Christopher; Dolan, Raymond; Price, Cathy; Zeki, Semir; Ashburner, John; Penny, William (2004) “Human Brain Function” second edition; Elsevier, Academic Press; San Diego, California

Gandolfo, F.; Mussa-Ivaldi, F. A.; Bizzi, E.(1996) “ Motor Learning by Field Aproximation” *Proc. Natl Acad Sci USA* 93:3843- 3846

Gentile, A. M. (1972) “A working model of skill acquisition with application to teaching” *Quest*, 17: 3-23

Getchell, Nancy and Whitall (2003) “How do children coordinate simultaneous upper and lower extremity tasks? The development of dual motor task coordination” *J. Experimental Child Psychology* 85 120-140

Godinho, Mario (2002) “Controlo Motor e Aprendizagem – Fundamentos e Aplicações” Faculdade de Motricidade Humana 2ª Edição

Hadj-Bouziane, Fadila; Frankowska, Hélène; Meunier, Martine; Coquelin, Pierre-Arnaud; Boussaoud Driss (2006) “Conditional visuo-motor learning and dimension reduction” *Cogn Process* 7: 95-104

Hallett, M. (2000) “Transcranial Magnetic stimulation and the human brain” *Nature* 406: 147-150

Hikosaka, O., Nakamura, K., Sakai, K., Nakahara, H., (2002) “ Central Mechanisms of motor skill learning” *Current Opinion Neurobiol.* 12, 217-222

Hudson, M. R. Lackner, J. R. DiZio, P. (2005) “ Rapid motor adaptation of torso pointing movements to perturbations of the base of support” *Exp. Brain Res.* 165: 283-293

Hummel F., Celnik P, Giraux P, Floel A, Wu W.H., Gerloff C., Cohen L. G. (2005) “Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain* 128: 490-499

Hutchinson, S.; Lee L. H.; Gaab, N. Schlaug, G. (2003) “ Cerebellar volume of musicians” *Cereb Cortex* 13: 943-949

INE (Instituto Nacional de Estatística) (2007) “Nos próximos vinte e cinco anos o número de idosos poderá mais que duplicar o número de jovens” http://www.ine.pt/portal/page/portal/PORTAL_INE a 5 de Fevereiro de 2008

Joiner, Wilsaan M. and Shelhamer, Mark (2006) “Pursuit and saccadic tracking exhibit a similar dependence on movement preparation time” *Exp Brain Res* 173: 572-586

Kandel, Erik; Schwartz, James; Jessell, Thomas (2000) “Neurociencia y Conduto” Prentice Hall

Kandel, Erik (2000) “The molecular Biology of Memory Storage: A dialog between genes and synapses” Nobel Lecture – Howard Hughes Medical Institute, New York

Kashihara, K. and Y. Nakahara (2005) “Short-term effect of physical exercise at lactate threshold on choice reaction time” *Perceptual and Motor Skills* 100(2): 275-281

Kassardjian, Charles D.; Tan, Yao-Fang; Chung, Ji-Yeon J.; Heskin, Raquel; Peterson, Michael J.; Broussard, Dianne M. (2005) “The site of a motor memory shifts with consolidation” *The Journal of Neuroscience*, 25 (35): 7979-7985

Kleim, J.A.; Swain, R.A.; Armstrong, K.A.; Napper, R.P.; Jones, T.A.; Greenough, W.T. (1998) “Selective synaptic plasticity within the cerebellar cortex following complex motor skill learning. *Neurobiol Learn Mem* 69: 274-289

Krakauer, John W. and Shadmehr, Reza; (2006) “Consolidation of Motor Memory”; *Trends in Neuroscience* Vol. 29 N°1 January

Kubeck, J. E., Delp N. D. Haslett T. K. McDaniel M. A. (1996) “Does job related training performance decline with age? *Psychol. Aging* 11: 92-107

Lackner, James R. and DiZio, Paul (2005) “ Motor control and learning altered dynamic environments” *Current Opinion in Neurobiology* 15: 653-659

Lang, C.E. and Bastian A. J. (2002) “ Cerebellar damage impairs automaticity of a recently practiced movement” *J. Neurophysiol* 87: 1336-1347

Larson, E. B.; Wang, L.; Bowen, J. D.; McCormick, W. C.; Teri, L.; Crane, P. et al. (2006) “Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older” *Annals of Internal Medicine* 144: 73-81

Lazarus, J. C. (1994) “Evidence of desinhibition in learning disabilities: The associated movement phenomenon.” *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11: 57-70

Lemmink, K. and C. Visscher (2005) “Effect of intermittent exercise on multiple-choice reaction times of soccer players” *Perceptual and Motor Skills* 100(1): 85-95

Lemon, R. 1988 “The output map of the primate motor cortex” Trends Neurosci. 11: 501-506

Leocani, L. and Comi, G. “Electrophysiological studies of brain plasticity of the motor system” Neurol Sci 27: S27-S29

Licari, Melissa; Larkin, Dawne; Miyahara, Motohide (2006) “The influence of developmental coordination disorder and attention deficits on associated movements in children” Human Movement Science 25: 90-99

Ljubisavljevic, Milos (2006) “Transcranial magnetic stimulation and the motor learning-associated cortical plasticity” Exp. Brain Research 173: 215-222

Mazzoni, P.; Krakauer, J. W. (2006) “An implicit plan overrides an explicit strategy during visuomotor adaptation” Journal of Neuroscience 26 (14): 3642-3645

Mayr, U. (1996) “Spatial Attention and implicit sequence learning: Evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences” Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition, 22, 350-364

Mcdonnel, M. N. and Ridding, M. C. (2006) “Afferent stimulation facilitates performance on a novel motor task” Exp. Brain Research 170: 109-115

Medina, J. F. et al. (2001) “A Mechanism for savings in the cerebellum”. J. Neuroscience. 21 4081-4089

Ohyama, T. and Mauk, M. (2001) “Latent acquisition of timed responses in cerebellar cortex. J. Neuroscience 21. 682-690

Olson, Ingrid R.; Rao, Hengyi; Moore, Katherine Sledge; Wang, Jiongjiong; Detre, John A.; Aguirre Geoffrey K. (2006) “Using perfusion fMRI to measure continuous changes in neural activity with learning” Brain and Cognition 60 262-271

Panzer, Stefan; Wilde, Heather; Shea, Charles H. (2006) "Learning of Similar Complex Movement Sequences: Proactive and Retroactive Effects on Learning" *Journal of Motor Behavior*, Vol. 38, Nº1 60-70

Park, In Sung; Han, Jong woo; Lee, Kea Joo; Lee, Nam Joon; Lee, Won Teak; Park, Kyung Ah; Rhyu, Im Joo (2006) "Evaluation of Morphological Plasticity in the Cerebella of Basketball Players with MRI" *Journal of Korean Med Science* 21: 342-346

Park, J. H.; Shea, C. H. (2004) "Part-whole practice of movement sequences " *J of Motor Behavior* 36: 51-61

Passingham, R. E.; Stephan, K. and Kotter, R. (2002) "The Anatomical Basis of functional localisation in the cortex" *Nature Rev. Neuroscience*: 3, 606-616

Pavlov, I. P. (1927) "Conditioned Reflexes: An Investigation of the Ohysiological Activity of the cerebral cortex" G. V. Anrep London: Oxford University Press

Penfield, W. and Boldrey, 1937 "Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man studied by electrical stimulation". *Brain* 60: 389- 443.

Philip, P., J. Taillard, P. Sagaspe, C. Valtat, M. Sanchez-Ortuno, N. Moore, A. Charles, and B. Bioulac (2004) "Age, performance, and sleep deprivation". *Journal of Sleep Research* 13(2): 105-110

Pohl, P. S.; McDowd, J.M.; Fillion, D.; Richards, L. G.; Stiers, W. (2006) "Implicit learning of a motor skill after mild and moderate stroke" *Clinical Rehabilitation* 20: 246-253

Posner, Michael I. and Raichle, Marcus E. (2001) "Imagens da Mente" Biblioteca Ciêntifica – Porto Editora

Praag, Van; Kenpemann, G.; Cage, FH. (1999) "Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus" *Nature Neuroscience* 2: 266-70

Purves, Dale; Augustine, George J.; Fitzpatrick, David; Hall, William C.; LaMantia, Anthony-Samuel; McNamara James O.; Williams S. Mark (2004) “Neuroscience” 3rd edition Sinauer Associates, Inc. Publishers; Sunderland, Massachusetts USA ISBN 0-87893-725-0

Richardson, Andrew G.; Overduin, Simon A.; Valero-Cabré, Antoni; Padoa-Schioppa, Camillo; Pascual-Leone, Alvaro; Bizzi, Emilio; Press, Daniel Z. (2006) “Disruption of Primary Motor Cortex before Learning Impairs Memory of Movements Dynamics” *The Journal of Neuroscience* 26 (48): 12466-12470

Schaal, S., Sternad, D., Osu, R., & Kawato, M. (2004) “Rhythmic arm movement is not discrete” *Nature Neuroscience*, 7, 1136–1143.

Sawaki, L., Yaseen, Z., Kopylev, L., Cohen, L. G. (2003) “Age dependent changes in the ability to encode a novel elementary motor memory” *Ann. Neurol.* 53: 521-524

Scherder, E. J. A.; Paasschen, J. Van; Deijen, J. B.; Knokke, Van Der; Orlebeke, J. F. K.; Burgers, I.; Devriese, P. Swaab, D. F. Sergeant, J. A. (2005) “Physical activity and executive functions in the elderly with mild cognitive impairment” *Aging & Mental Health* 9 (3) 272-280

Schmidt, Richard and Lee, Tim (2005) “Motor Control and Learning – A Behavioral Enphasis” *Human Kinetics*

Shadmehr, Reza and Holcomb, Henry H. (1997) “ Neural Correlates of Motor Memory Consolidation” *Science* Vol 277: 821-825

Shutoh, F.; Ohki, M.; Kitazawa, H.; Itohara, S.; Nagao, S. (2006) “Memory trace of motor learning shifts transsynaptically from cerebelar cortex to nuclei for consolidation” Laboratory for Motor Learning Control, RIKEN Brain Science Institute, Hirosawa 2-1, Wako, Saitama 351-0198, Japan

Skinner, B.F. (1953). *Science and human behavior*. New York: MacMillan.

Smith, C.D. Umberger, G. H. Manning, E. L. Slevin, J. T. Wekstein, D. R. Schmitt, F. A. et al. "Critical decline in fine motor hand movements in human aging" *Neurology* 53: 1458-61

Squire, Larry; Bloom, Floyd; McConnell, Susan; Roberts, James; Spitzer, Nicholas; Zigmond, Michael (2003) "Fundamental Neuroscience" Second Edition; Academic Press, San Diego, California; Chapter 28

Stickgold, Robert and Walker M. P. (2005) "Memory consolidation and reconsolidation: what is the role of sleep?" *Trends in Neurosciences* Vol.28 No.8 August 2005

Stoodley, Catherine J.; Harrison, Edward P. D.; Stein, John F. (2006) "Implicit motor learning deficits in dyslexic adults" *Neuropsychologia* 44 795-798

Tcheang, Lili; Bays, Paul M.; Ingram, James N.; Wolpert Daniel, M. (2007) "Simultaneous bimanual dynamics are learned without interference" *Exp. Brain Res.* 183: 17-25

Thach, W. T. (1998) "A role for the cerebellum in learning movement coordination" *Neurobiol Learn Mem*: 70: 177-188

Tong, Christine and Flanagan, Randall (2003) "Task-Specific Internal Models for Kinematics Transformations" *J. Neurophysiol.* 90: 578-585

Vangheluwe, Sophie; Suy, Ellen; Wenderoth, Nicole; Swinnen, Stephan P. (2006) "Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: effector-independent and effector-specific levels of movement representation" *Exp Brain Res* 170: 543-554

Vaynman, Shoshanna; Ying Zhe; Gomez-pinilla, Fernando (2004) "Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition" *European Journal of Neuroscience* Vol. 20 pp 2580-2590

Vertes, Robert P. (2004) "Memory Consolidation in Sleep: Dream or Reality" *Neuron*, Vol. 44, 135-148 Cell Press

Waber, Deborah P.; Marcus, David J.; Forbes, Peter W.; Bellinger, David C.; Weiler Michael D.; Sorensen, Lisa G. and Curran, Tim (2003) "Motor sequence learning and reading ability: Is poor reading associated with sequencing deficits?" *J. Experimental Child Psychology* 84 338-354

Walker, Matthew P.; Brakefield, Tiffany; Morgan, Alexandra; Hobson, J. Allan; Stickgold, Robert (2002) "Practice with sleep makes perfect: Sleep Dependent Motor Skill Learning" *Neuron*, Vol. 35 205-211

Walker, M. P. et. al. (2003) "Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation" *Nature* 425: 616-620

Walker, Matthew P.; Stickgold, Robert (2005) "Memory consolidation and reconsolidation; what is the role of sleep?" *Trends in Neuroscience* Vol. 28 nº 8 408-415

Wang, Xin-Ming; Gao, Xiang; Zhang, Xue-Han; Tu, Yan-Yang; Jin, Lei-Lei; Zhao, Guo-Ping; Yu, Lei; Jing, Nai-He; Li, Bao-Ming (2006) "The Negative cell regulator, Tob (transducer of ErbB-2), is involved in motor skill learning" *Biochemical and Biophysical Research Communications* 340: 1023-1027

Watson, Alan H. D. (2006) "What can studying musicians tell us about motor control of the hand?" *J. Anat.* 208, 527-542

Winter, Bernward; Breitenstein, Caterina; Mooren, Frank C.; Voelker, Klaus; Fobker, Manfred; Lechtermann, Anja; Krueger, Karsten; Fromme, Albert; Korsukewitz, Catharina; Floel, Agnes; Knecht, Stefan (2007) "High impact running improves learning" *Neurobiology of Learning and Memory* 87: 597-609

Woolsey, C. N., 1958 “Organization of somatic sensory and motor areas of the cerebral cortex”. Biological and biochemical bases of behaviour, H. F. Harlow and C. N. Woolsey (eds), Madison, WI: University of Wisconsin Press, pp. 63-81.

Wright, D; Box, G.; Nagata, K.; Kanno, I.; Rottenbrg, D. (2004) “ The role of memory consolidation in motor learning: a positron emission tomography study”; International Congress Series 1270: 258-261

Wu, Tao; Kansaku, Kenji; Hallet, Mark (2004) “How Self-Initiated Memorized Movements Become Automatic: A Functional MRI Study” J. Neurophysiol 91: 1690-1698

Wulf, G. & Schmidt, R.A. 1997. Variability of practice and implicit motor learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 23, 987-1006.